



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 197 42 670 A 1

⑤ Int. Cl.⁶:
H 04 L 27/00
H 04 L 27/34

⑳ Aktenzeichen: 197 42 670.0
㉔ Anmeldetag: 26. 9. 97
㉕ Offenlegungstag: 8. 4. 99

D2

DE 197 42 670 A 1

㉑ Anmelder:
Telefonaktiebolaget L M Ericsson, Stockholm, SE

㉒ Vertreter:
HOFFMANN · EITLE, 81925 München

㉓ Erfinder:
André, Tore Mikael, Älsvjö, SE

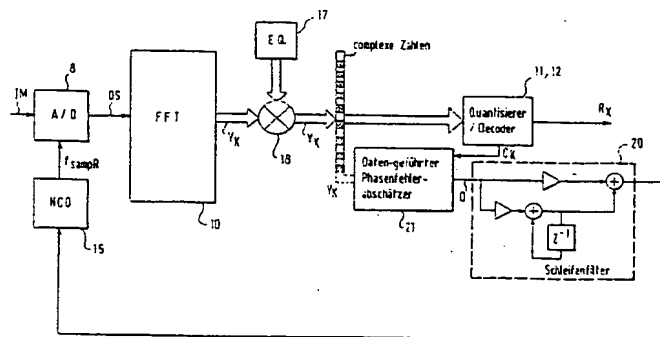
⑤⑥ Entgegenhaltungen:
BINGHAM, John A.C.: Multicarrier Modulation for Data Transmission: An Idea Whose Time Has Come, In: IEEE Communications Magazine, 1990, Mai, S. 5-8 und 11-14;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren, Empfänger und Mehrträger-QAM-System zur Demodulation eines analogen Mehrträger-QAM-Signals

⑤⑦ In einem Mehrträger-QAM-System umfaßt ein Empfänger einen datengestützten Phasenfehlerabschätzer (21), der eine Phasendrehrichtung jedes empfangenen komplexen QAM-Datenwerts (Y_K) bezüglich des komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts (C_K), der von einem Quantisierer/Decoder (11, 12) zum Decodieren verwendet wird, bestimmt. Der datengestützte Phasenfehlerabschätzer (21) mittelt die Phasendrehrichtungen über alle Träger und stellt die Phase einer Abtastfrequenz ($f_{\text{samp}R}$), die von einem numerisch-gesteuerten Oszillator (15) ausgegeben wird, auf Grundlage dieses insgesamt durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (D) ein. Somit kann eine insgesamt Abschätzung der fehlenden Phasensynchronisation zu der Abtastfrequenz, die in dem Sender verwendet wird, erhalten werden, so daß die Datensymbole genau decodiert werden können.



GEBIET DER ERFINDUNG

Die Erfindung betrifft allgemein ein Mehrträger-QAM-System und einen QAM-Empfänger und außerdem ein Verfahren zum Empfangen und Demodulieren eines analogen Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Ausgangssignal, welches aus aufeinanderfolgenden Bits besteht. Insbesondere betrifft die Erfindung die Einstellung bzw. Anpassung einer Phase einer Abtastfrequenz auf der Empfängerseite des Mehrträger-QAM-Systems.

Mehrträger-QAM-Systeme

Mehrträger-QAM-Systeme werden in allgemeinen geschalteten Telefonnetzen, Zellularfunktechnologie und Übertragungen zwischen einzelnen Modems unter Verwendung von DMT oder OFTM (DMT: diskrete Mehrton-Modulation oder "discrete multi-tone modulation"; OFTM: orthogonale Frequenzteilungs-Multiplexierung oder "frequency division multiplexing") weitläufig verwendet. Allgemein weist eine Übertragung mit einer Mehrträger-QAM Vorteile gegenüber einer Übertragung mit einem einzelnen Träger auf, z. B. daß ein Mehrträger-QAM-Signal in einem Empfänger mit wenig Rauschen oder einer geringen Störung, die z. B. durch eine lineare Angleichung (über einen Equalizer) eines Einzelträgersignals verursacht wird, verarbeitet werden kann und zweitens, daß die in der Mehrträger-QAM-Übertragung erzeugte lange Symbolzeit eine viel größere Unempfindlichkeit gegenüber Impulsrauschen und schnellen Schwundeffekten erzeugt.

Andererseits muß die Zurückgewinnung der Abtastphase mit einer richtigen Phase und die Zurückgewinnung der Symbolrate und deren Startposition aus dem empfangenen analogen Mehrträger-QAM-Signal an dem Empfänger sehr genau sein, um nicht eine falsche Decodierung der Daten zu verursachen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Der Hintergrund einer Mehrträger-Modulation/Demodulation von Daten wird zunächst unter Bezugnahme auf die beigefügten Fig. 1 bis 4 erläutert. Ein allgemeiner Übersichtsartikel, der derartige grundlegende Aspekte beschreibt und der sich auf den Oberbegriff der beigefügten Ansprüche 1, 14, 23 bezieht, ist in IEEE Communications Magazine, Mai 1990, Seiten 6 bis 14, "Multicarrier Modulation for Data Transmission: An Idea Whose Time Has Come" von John A.C. Bingham veröffentlicht.

Mehrträger-Modulation

Wie in Fig. 1 gezeigt, werden Eingangsdaten T_x mit Mf_s Bits pro Sekunde in Blöcke von M Bits bei einer Block ("Symbol")-Rate von f_s gruppiert. Wie in Fig. 3 gezeigt, können die Eingangsdaten T_x z. B. aus einem Videosignalcodierer 13, allgemein als Bits von einer Datenquelle erhalten werden. Die aufeinanderfolgenden Bits der Eingangsdaten T_x weisen eine bestimmte Bitrate auf, d. h. eine bestimmte Anzahl von Bits pro Sekunde. Wie in Fig. 3 gezeigt, entspricht ein Block von Bits M einem Symbol in der Mehrträger-Übertragungstechnologie. In einem serien-zu-parallel Wandler 1 werden die Eingangsdaten T_x in Gruppen von m_1 Bits, m_2 Bits . . . m_n Bits gruppiert. In einem Modulator 2 werden m_n Bits für den Träger bei $f_{c,n}$ verwendet, um N_c Träger zu modulieren, die über irgendein verwendbares Frequenzband in einem Abstand von Δf verteilt sind. Das heißt,

$$f_{c,n} = n \Delta f \text{ für } n = n_1 \text{ to } n_2 \quad (1)$$

und

$$M = \sum_{n=n_1}^{n_2} m_n$$

mit

$$N_c = n_2 - n_1 + 1,$$

Δf : Trägerabstand,

n_1 : niedrigster Index der Träger,

n_2 : höchster Index der Träger,

N_c : Gesamtanzahl von betrachteten Trägern.

Die Träger, die durch die einzelnen Bits moduliert worden sind, werden für eine Übertragung auf eine Übertragungsleitung TM summiert und müssen vor einer Demodulation im Prinzip in dem Empfänger getrennt werden. Wie im folgenden noch beschrieben wird, kann eine Trennung und Demodulation gleichzeitig unter Verwendung von einer FFT (schnellen Fourier-Transformation) durchgeführt werden.

Mehrträger-Demodulation

Herkömmlicherweise verwendete Mehrträger-Demodulationstechniken werden in dem vorangehend zitierten Dokument des Standes der Technik beschrieben. Heutzutage werden viele Systeme ein Demodulationsverfahren verwenden.

bei dem die Träger durch die Daten unter Verwendung der sogenannten Quadraturamplitudenumtastung (QAM oder "quadrature amplitude shift keying") "umgetastet" werden. Die einzelnen Spektren sind nur sinc-Funktionen und nicht bandbegrenzt. Die Trennung wird dann durch eine Basisband-Bearbeitung und nicht durch eine Bandpaßfilterung ausgeführt, was zu dem Vorteil führt, daß sowohl der Sender als auch der Empfänger unter Verwendung von effizienten Fast Fourier Transform (FFT oder schnelle Fourier-Transformation) Techniken implementiert werden können.

QAM-System unter Verwendung von Fast Fourier Transforms

Fig. 2 zeigt ein grundlegendes Mehrträger-QAM-System unter Verwendung von Fast Fourier Transforms (schnellen Fourier Transformationen) in den Einrichtungen 4, 10 auf der Sender- und Empfängerseite. Eine Modulation wird für M Bits (Symbol oder Block) von Daten gleichzeitig ausgeführt – vorzugsweise unter Verwendung einer inversen FFT (FFT^{-1}) – und Abtastwerte des gesendeten Signals auf der Übertragungsleitung TM (ein analoges Signal) werden bei der Abtastrate f_{sampT} in dem Digital/Analog-Wandler 5 erzeugt. Für den besten Wirkungsgrad sollte f_{sampT} gleich zu Δf multipliziert mit einer ganzzahligen Potenz von 2 sein.

Wenn $f_{\text{samp}} = 2 \cdot N_{\text{tot}} \cdot \Delta f$ ist, dann sind zur Modulation N_{tot} Träger verfügbar, aber der Kanal wird gewöhnlicherweise derart sein, daß nur N_c ($N_c < N_{\text{tot}}$) Träger verwendet werden können. Wenn dies bei den Frequenzen $n_1 \Delta f$ bis $n_2 \Delta f$ liegen, wie mit der obigen Gleichung (1) definiert, wird eine Modulation von insgesamt M Bits, m_n gleichzeitig, am einfachsten dadurch erreicht, indem N_c komplexe Zahlen (die jeweils aus einer Konstellation mit 2^{m_n} Punkten gewählt werden) berechnet, sie mit $n_1 - 1$ Nullen vorne und $N_{\text{tot}} - n_2$ Nullen hinten ergänzt werden und eine FFT^{-1} unter Verwendung von N_{tot} Punkten ausgeführt wird. Somit ist die Modulation über eine FFT^{-1} äquivalent zu einer Mehrträger-QAM, bei der die grundlegende Basisbandimpulsform ein Rechteck ist.

In dem Empfänger 7-12 wird das empfangene analoge Signal demoduliert, indem N_{tot} Abtastwerte in einen Block zusammengefaßt werden und eine reale-zu-komplexe FFT in der Einrichtung 10 ausgeführt wird. Dies ist äquivalent zu einer Demodulation jedes Nebenbands getrennt und dann einer Durchführung einer Integrations-und-Verwerfungsprozedur für jedes Produkt.

Das heißt, nach der Serien-zu-Parallel-Umwandlung in dem Wandler 1 erzeugt der Codierer 3 eine Vielzahl von komplexen Werten, deren Anzahl der Anzahl von in dem Mehrträger-System verwendeten Trägern entspricht. Die Umtastung wird dann im wesentlichen durch die FFT^{-1} in der Einrichtung 4 ausgeführt, was zu einer Anzahl von getrennten realen Abtastwerten führt. Der Digital/Analog-Wandler 5 setzt diese digitalen Abtastwerte in das analoge Übertragungssignal zusammen, indem er eine vorgegebene Abtastrate oder Abtastfrequenz f_{sampT} verwendet.

Die Demodulation an dem Empfänger 7-12 ist vollständig analog zu der Modulation in dem Sender 1-6. Das analoge Signal wird unter Verwendung des Digital/Analog-Wandlers 8 unter Verwendung einer Abtastrate f_{sampR} in digitale Abtastwerte umgewandelt. Die digitalen Abtastwerte werden dann an den Serien-zu-Parallel-Puffer 9 angelegt, der diese Werte an die FFT-Einrichtung 10 ausgibt, die die reale-zu-komplexe FFT-Transformation ausführt. In dem Ausgang der FFT 10 befinden sich N_{CR} komplexe Werte, die idealerweise identisch zu denjenigen sein sollten, die von der FFT^{-1} Einrichtung 4 in dem Sender eingegeben werden. Der Decodierer 11 und der Parallel-zu-Seriell-Puffer 12 führen eine jeweilige inverse Operation wie die Teile 1, 3 in dem Sender aus, um ein digitales Ausgangssignal R_x zu erhalten, das aus aufeinanderfolgenden Bits besteht, die dem eingegebenen Bitstrom T_x entsprechen sollten.

Decodieren der komplexen QAM-Datenwerte

Fig. 4 zeigt die komplexen QAM-Datenwerte Y_{00} , Y_{01} , Y_{10} , Y_{11} des digitalen Frequenzbereichs-Mehrträger-QM-Signals, das von der FFT-Einrichtung 10 in dem Empfänger ausgegeben wird. Als ein Beispiel zeigt Fig. 4 die Situation unter Verwendung eines Trägers, der zwei Bits sendet. In Fig. 4 sind auch die komplexen vorgegebenen (d. h. erwarteten) QAM-Datenwerte C_{00} , C_{01} , C_{10} , C_{11} gezeigt, die tatsächlich von dem Sender übertragen wurden. Wie sich ersehen läßt, stimmen die gesendeten Datensymbole C_k nicht notwendigerweise mit den empfangenen Datensymbolen Y_k in der komplexen Ebene überein. Eine derartige Abweichung wird hauptsächlich durch die Tatsache verursacht, daß die Symbolrate und/oder die Abtastrate in dem Sender und dem Empfänger zueinander nicht vollständig synchronisiert sein können. Ferner gibt es Verzerrungen auf der Übertragungsleitung TM (d. h. dem Übertragungskanal).

Jedoch können die gesendeten Datensymbole 00, 01, 10, 11 immer noch decodiert werden, weil der Decoder 11 als empfangenes Datensymbol das Trägerdatensymbol abschätzen oder wählen wird, welches am nächsten dazu in der komplexen Ebene liegt. Normalerweise werden quadratische Konstellationen dafür verwendet und die Real- und Imaginärteile von C_k (die dem Empfänger als ideale Datensymbole bekannt sind) und diejenigen von Y_k (dem Ausgang von der FFT-Einrichtung 10) werden verglichen. Die Kreise in Fig. 4 zeigen schematisch diese Auswahl oder diesen Abschätzungsprozeß an, so daß bestimmt wird, daß Y_{00} das Datensymbol 00 ist, Y_{01} das Datensymbol 01 ist, Y_{10} das Symbole 10 ist und Y_{11} das Symbol 11 ist. Wie sich ferner aus Fig. 4 entnehmen läßt, kann die Position der komplexen QAM-Datenwerte Y_k von der exakten in einer positiven oder negativen Richtung verschoben sein, nämlich als Folge der fehlenden Synchronisation zwischen dem Sender und dem Empfänger.

Herkömmliche Zeitsteuerungs-Zurückgewinnung

Wie bereits oben erläutert, wird die unrichtige Positionierung der komplexen QAM-Datenwerte in der komplexen Ebene in dem Ausgang von der FFT-Einrichtung 10 in dem Empfänger 7-12 durch die unrichtige Synchronisation der Abtastrate und der Symbolrate verursacht.

Die Zeitsteuerungs-Zurückgewinnung kann in zwei Probleme aufgeteilt werden. Erstens muß die Abtastrate in dem Empfänger die gleiche wie diejenige in dem Sender sein. Das heißt, der Sender muß die gleiche Abtastdifferenz verwenden und deshalb muß der Empfänger die Abtastrate zurückgewinnen. Die Abtastfrequenz wird in einem numerisch-gesteuerten Oszillator NCO erzeugt, wie sich Fig. 5 entnehmen läßt. Gewöhnlicherweise ist der numerisch-gesteuerten Os-

zillator NCO 15 in einer phasenstarken Regelschleife PLL enthalten. Die Schaltung zur Zeitsteuerungs-Zurückgewinnung aus Fig. 5 liegt zwischen den Knoten ①, ② in Fig. 2.

Das zweite Problem besteht darin, die Symbolposition zurückzugewinnen und dies muß nur einmal durchgeführt werden, wenn der Abtasttakt in der Phase eingerastet ist, weil eine bekannte Beziehung zwischen Abtastraten und Symbolraten besteht (z. B. ein Symbol kann aus 512 Abtastwerten bestehen und gemäß dem Nyquist-Theorem werden 256 Träger dafür verwendet; zusätzlich ist bekannt, daß die 512 Abtastwerte z. B. 1000 Bits modulieren, so daß der Zusammenhang zwischen der Abtastrate und der Symbolrate hergestellt ist). Nur die Symbolposition ist unbekannt.

In Fig. 5 wird ein Zeitbereichs-Phasendetektor 14 zum Steuern des numerisch-gesteuerten Oszillators NCO verwendet, um die gewünschte Empfängerabtastfrequenz f_{sampR} zu erzeugen, wenn die Schalter S1, S2 geöffnet sind. Da das Signal die FFT 10 noch nicht durchlaufen hat, kann nur eine Zeitbereichs-Phasendetektion ausgeführt werden, wobei die Schalter S1, S2 offen sind.

Zeitbereichs-Abtastraten-Zurückgewinnung unter Verwendung eines Pilottons

Eine Vorgehensweise zum Extrahieren der Abtastrate besteht darin, einen Pilotton (Testton) in dem Zeitbereich zu verwenden. Wenn in Fig. 5 die Schalter S1, S2 offen sind, wird die Abtastrate aus einem einzelnen Pilotton einer bekannten Frequenz und Phase zurückgewonnen, indem das empfangene Signal einmal pro Periode des bekannten Pilottons erneut abgetastet wird (Empfängertraining beim Starten unter Verwendung nur des Pilottons). Die Abtastwerte werden dann direkt verwendet, um die PLL zu steuern, die den numerisch-gesteuerten Oszillator 15 umfaßt, so daß die Abtastfrequenz selbst aus der Übertragung eines bekannten Pilottons zurückgewonnen werden kann.

Frequenzbereichs-Phaseneinstellung unter Verwendung eines Pilottons

Wenn die Schalter S1, S2 in Fig. 5 geschlossen sind, dann kann eine Phaseneinstellung mit einem Frequenzbereichs-Phasendetektor ausgeführt werden. Die Funktion dieses Frequenzbereichs-Phasendetektors 16 unter Verwendung des Pilottons ist weiter in Fig. 6 dargestellt. Wiederum läßt sich Fig. 6 ansehen, daß sie die Teile zwischen den Knoten ① bis ③ in Fig. 2 ersetzt.

In Fig. 6 wird die Zeitsteuerungs-Zurückgewinnung geändert, um nur den FFT-Ausgang bezüglich des Pilottons, der ohne oder zusammen mit den Daten gesendet wird, zu verwenden. In Fig. 6 wird nur eine komplexe Zahl entsprechend der Frequenz des Pilottons extrahiert, wie in dem kleinen Diagramm in Fig. 6 gezeigt. Wenn diese Frequenz eine Phasenabweichung aufweist, dann kann die falsche Phase der Empfänger-Abtastrate bestimmt werden, indem nur der Realteil der empfangenen komplexen Zahl entsprechend dem Pilotton extrahiert wird (in Fig. 6 wird angenommen, daß der gesendete Pilotton eine Phase von $+j$ aufweist). Das heißt, der Realteil zeigt die Phasenabweichung an und die Phase der Abtastrate f_{sampR} des numerisch-gesteuerten Oszillators NCO kann in Abhängigkeit von diesem extrahierten Realteil gesteuert werden.

Ferner und wie in Fig. 6 gezeigt, kann ein Equalizer 17 vorgesehen sein, um Phasen- und Amplitudenfehler zu kompensieren, die von der Leitung TM in dem Wertes verursacht werden, die in dem Frequenzbereich von der FFT-Einrichtung 10 ausgegeben werden (d. h. der Equalizer EQ kann eine Drehung jedes von der FFT 10 ausgegebenen komplexen Werts ausführen oder er kann jeweils die komplexen Werte mit einer bestimmten Zahl multiplizieren). Somit führt der Equalizer EQ eine Ausgleichung oder Equalisation der einzelnen Träger getrennt aus, indem er jeden komplexen QAM-Datenwert Y_k betrachtet. Der Equalizer kann somit die einzelnen komplexen QAM-Datenwerte drehen und/oder ihre Amplituden ändern. Tatsächlich stellt der Equalizer 17 eine Anzahl von Koeffizienten bereit, die mit dem Ausgang der FFT multipliziert werden sollen.

Ein Mehrträger-QAM-System unter Verwendung einer derartigen abgeschätzten Pilotreferenz ist aus der US 5,519,730 bekannt. Ein anderes Verfahren zum Verbessern der Genauigkeit der empfangenen digitalen Datensymbole ist aus der US 5,497,398 bekannt, die eine verbesserte Transformationstechnik für die Zeitbereichs-/Frequenzbereichs-Umwandlung in dem Sender und Empfänger verwendet.

Die EP 0 693 830 A2 beschreibt eine CDMA Mobilkommunikationssystem und ein Erfassungsverfahren, bei denen eine Übertragung durch Ausführen einer Quadraturmultiplexierung eines Pilotsignals und eines Datensignals mit I und Q-Komponenten, die über das Spektrum gestreut sind, ausgeführt wird. Der Empfänger enthält eine Entspreizungsschaltung zum Entspreizen der quadraturmultiplexierten Empfangssignale durch Verwenden von Entspreizungscodes für das Pilotsymbol und zum Entspreizen der Empfangssignale durch Verwenden von Entspreizungscodes für die Datensymbole.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Wie voranstehend erläutert, weisen die Zeitbereichs-Abtastraten-Zurückgewinnung und die Pilotton-Frequenzbereichs-Phaseneinstellung den Nachteil auf, daß die Phaseneinstellung der Abtastrate noch relativ ungenau ist, da der Equalizer 17 lediglich einen Pilotton zum Einstellen der komplexen QAM-Werte verwendet. Deshalb führt der Equalizer nur eine Anpassung der einzelnen komplexen Werte, die von der FFT-Einrichtung 10 ausgegeben werden, aus, während die Phase des numerisch-gesteuerten Oszillators (der phasenstarken Regelschleife PLL) nur auf der Basis des einzelnen Realteils des einzelnen Pilottons gesteuert werden kann. Dies ergibt noch keine genaue Phasenzurückgewinnung, da die Einstellung grundlegend auf einem einzelnen Pilotton basiert.

Deshalb ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung die Bereitstellung eines Empfängers eines Mehrträger-QAM-Systems, eines Mehrträger-QAM-Systems und eines Verfahrens zum Demodulieren eines analogen Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Ausgangssignal, so daß die decodierten Datensymbole in dem Empfänger mit den gesendeten Datensymbolen von dem Sender sehr genau übereinstimmen.

Diese Aufgabe wird durch einen Empfänger eines Mehrträger-QAM-Systems zum Empfangen und Demodulieren eines analogen Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Ausgangssignal bestehend aus aufeinanderfolgenden Bits gelöst, das umfaßt:

- a) eine Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung zum Umwandeln des analogen Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal unter Verwendung einer vorgegebenen Abtastfrequenz von einem Empfängertaktgenerator; 5
- b) eine Zeitbereichs-/Frequenzbereichs-Umwandlungseinrichtung zum Umwandeln des digitalen Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signal bestehend aus einer Vielzahl von komplexen QAM-Datenwerten; 10
- c) eine Decodiereinrichtung zum jeweiligen Wählen eines komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts, der ein bekanntes digitales Datensymbol darstellt, auf Grundlage der komplexen QAM-Datenwerte und zum Decodieren der komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerte in das digitale Ausgangssignal; und 15
- d) eine Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung zum Einstellen einer Phase des Empfängertaktgenerators, so daß die Abtastzeitgabe in der Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung mit derjenigen übereinstimmt, die in einem Sender verwendet wird, der das analoge Mehrträger-Signal erzeugt; wobei
- e) die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung umfaßt: 20
 - e1) eine Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung zum Bestimmen einer Vielzahl von Phasendrehrichtungswerten eines jeweiligen komplexen QAM-Datenwerts bezüglich eines entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts; und
 - e2) eine Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung zum Bestimmen eines durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts durch Mitteln aller jeweiligen Drehrichtungswerte; und wobei 25
- f) die Phase der Abtastfrequenz auf Grundlage des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts eingestellt wird.

Diese Aufgabe wird auch durch ein Mehrträger-QAM-Kommunikationssystem zum Senden von Information unter Verwendung einer Mehrträger-QAM zwischen einem Sender und einem Empfänger gelöst, das an dem Empfänger umfaßt:

- a) eine Codiereinrichtung zum Codieren eines Eingangsbitstroms in ein digitales Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signal bestehend aus einer Anzahl von komplexen QAM-Datenwerten unter Verwendung einer Mehrträger-QAM-Technik; 30
- b) eine Frequenzbereichs-/Zeitbereichs-Umwandlungseinrichtung zum Umwandeln des digitalen Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal bestehend aus einer Anzahl von getrennten QAM-Abtastwerten; und 35
- c) eine Digital/Analog-Umwandlungseinrichtung zum Umwandeln der Abtastwerte des digitalen Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signals in ein analoges Mehrträger-QAM-Signal unter Verwendung einer vorgegebenen Sender-Abtastfrequenz aus einem Sendertaktgenerator; und 40

an dem Empfänger:

- d) eine Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung zum Umwandeln des analogen Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal unter Verwendung einer vorgegebenen Abtastfrequenz aus einem Empfängertaktgenerator; 45
- e) eine Zeitbereichs-/Frequenzbereichs-Umwandlungseinrichtung zum Umwandeln des digitalen Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signal bestehend aus einer Vielzahl von komplexen QAM-Datenwerten;
- f) eine Decodiereinrichtung zum jeweiligen Wählen eines komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts, der ein bekanntes digitales Datensymbol darstellt, auf Grundlage der komplexen QAM-Datenwerte und zum Decodieren der komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerte in ein digitales Ausgangssignal; und 50
- g) eine Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung zum Einstellen einer Phase des Empfängertaktgenerators, so daß die Abtastzeitgabe in der Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung mit derjenigen übereinstimmt, die von der Digital-/Analog-Umwandlungseinrichtung in einem Sender verwendet wird; 55
- wobei
- h) die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung umfaßt:
 - h1) eine Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung zum Bestimmen einer Vielzahl von Phasendrehrichtungswerten eines jeweiligen komplexen QAM-Datenwerts bezüglich eines entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts; und 60
 - h2) eine Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung zum Bestimmen eines durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts durch Mitteln aller jeweiligen Drehrichtungen; und wobei
- i) die Phase der Abtastfrequenz auf Grundlage des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts eingestellt wird.

Die Aufgabe wird auch durch ein Verfahren in einem Mehrträger-QAM-System zum Empfangen und Demodulieren eines analogen Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Ausgangssignal bestehend aus aufeinanderfolgenden digitalen Datensymbolen gelöst, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt: 65

- a) Umwandeln des analogen Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal unter Verwendung einer vorgegebene Abtastfrequenz von einem Empfängertaktgenerator;
 b) Umwandeln des digitalen Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signal bestehend aus einer Vielzahl von komplexen QAM-Datenwerten;
 5 c) Wählen jeweils eines komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts, der ein bekanntes digitales Datensymbol darstellt, auf Grundlage der komplexen QAM-Datenwerte und Decodieren der komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerte in das digitale Ausgangssignal; und
 d) Einstellen einer Phase des Empfängertaktgenerators, so daß die Abtastzeitgabe, die in dem Analog/Digital-Umwandlungsschritt verwendet wird, mit derjenigen übereinstimmt, die in einem Sender verwendet wird, der das
 10 Mehrträger-QAM-Signal erzeugt;

gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- e1) Bestimmen jeweils einer Vielzahl von Phasendrehrichtungswerten eines jeweiligen komplexen QAM-Datenwerts bezüglich eines entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts; und
 15 e2) Bestimmen eines durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts durch Mitteln aller jeweiligen Drehrichtungswerte; und
 f) Einstellen der Phase der Abtastfrequenz auf Grundlage des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts.

20 Gemäß der Erfindung umfaßt die Zeitgaben- oder Zeitsteuerungs- Zurückgewinnungseinrichtung eine Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung und eine Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung. Anstelle den einzelnen Pilotton zu verwenden, schätzt die Zeitgaben- Zurückgewinnungseinrichtung eine Phasendrehrichtung jedes komplexen QAM-Datenwerts bezüglich eines entsprechenden komplexen Vorgaben-QAM-Datenwerts ab. Wie voranstehend erwähnt, kann die Drehrichtung in der komplexen Ebene in der Uhrzeigerrichtung oder in der Gegenuhrzeigerrichtung sein. Nur die allgemeine Richtung für jeden komplexen QAM-Datenwert muß bestimmt werden.

25 Die Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung mittelt dann die jeweiligen Drehrichtungen von allen Datensymbolen in dem Ausgang der FFT-Einrichtung. Die durchschnittliche Drehrichtung, die auf einer Abschätzung aller Datensymbole basiert, wird dann zum Einstellen der Phasen in dem Empfängertakt, d. h. in dem numerisch-gesteuerten Oszillator in der phasenstarren Regelschleife verwendet. Somit ergibt die Durchschnittsbildung eine Gesamtab Abschätzung für die falsche Synchronisation der Abtastrate in dem Empfänger, anstelle daß lediglich die Phase auf Grundlage einer Drehung eines einzelnen Pilottons bekannter Phase eingestellt wird.

30 In vorteilhafter Weise kann das datengestützte oder datengeführte Verfahren unter Verwendung eines Durchschnittswerts von allen Phasendrehrichtungen von allen Datensymbolen zusammen mit dem Pilottonverfahren des Standes der Technik verwendet werden. Dann kann die Phasendrehung aufgrund der Pilotton-Auswertung und die durchschnittliche Phasendrehung der datengestützten Prozedur addiert werden, um zu einer Gesamtab Abschätzung zum Einstellen der Phase zu führen. Jedoch muß der Equalizer (Koeffizient) für den Pilottonträger festgelegt werden. Dies ist insbesondere vorteilhaft, da sich eine Situation ergeben kann – wenn der Equalizer getrennt verwendet wird –, daß der Equalizer die komplexen QAM-Datenwerte in eine Richtung dreht, während die Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung und die
 40 Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung die Datensymbole exakt in die entgegengesetzte Richtung drehen.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist es nicht explizit notwendig, den Phasendrehwinkel selbst zu bestimmen, um die Gesamtdrehrichtung zu bestimmen. Es ist nur erforderlich, das Vorzeichen der Real- und Imaginärteile des Fehlervektors zwischen dem empfangenen und gesendeten Datensymbol zu verarbeiten, um den Quadranten in der komplexen Ebene zu bestimmen, in dem der Fehlervektor liegt, und um die Richtung zu bestimmen, in
 45 die er weist.

Gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung können die einzelnen Phasendrehrichtungswerte jedes Trägers (komplexer QAM-Datenwert) mit einem Gewichtungsfaktor gewichtet werden, bevor derartige gewichtete Phasendrehrichtungswerte in der Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung gemittelt werden. Beispielsweise kann ein Signal-zu-Rausch-Verhältnis für jeden Träger berechnet werden und der Gewichtungsfaktor kann von dem Signal-zu-Rausch-Verhältnis abhängig gemacht werden (deshalb kann der Rauschanteil auf jedem Träger, der zu einer möglichen Drehung beiträgt, eingebaut werden, um zu einem noch besseren gesamten Durchschnittsphasendrehrichtungswert zu gelangen)

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen und Verbesserungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen aufgeführt. Nachstehend wird die Erfindung weiter durch Beschreibung von spezifischen Ausführungsformen und durch Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen dargestellt, in denen gleiche oder ähnliche Bezugszeichen die gleichen oder ähnliche Teile bezeichnen.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

60 In den Figuren zeigen:

Fig. 1 das Prinzip eines Mehrträger-Senders zum Modulieren einer Anzahl von Trägern $f_{c,n}$ mit einer bestimmten Anzahl von m_n Bits;

Fig. 2 ein grundlegendes Mehrträger-QAM-System, bei dem Fourier-Transformations-Einrichtungen für die Modulation/Demodulation verwendet werden;

65 Fig. 3 ein Diagramm, das die Symbolrate und die Bitrate erläutert;

Fig. 4 ein Beispiel einer Mehrträger-QAM-Demodulation unter Verwendung von vier Datensymbolen für einen Träger;

Fig. 5 die Anordnung einer Zeitgaben-Zurückgewinnungs-Schaltung, die in dem Mehrträger-QAM-System aus Fig. 1

verwendet wird;

Fig. 6 einen Mehrträger-QAM-Empfänger unter Verwendung einer Zeitbereichs-Phaseneinstellung, die einen einzelnen Pilotton PT verwendet, der von dem Sender gesendet wird;

Fig. 7 ein Prinzip-Blockschaltbild eines Mehrträger-QAM-Empfängers unter Verwendung eines datengestützten Phasenfehlerabschätzers zum Ermitteln eines durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts D;

Fig. 8 ein Diagramm, das die positiven Phasenfehler, die negativen Phasenfehler und die Nullphasenfehler zwischen den gesendeten C_K und empfangenen Y_K komplexen QAM-Datenwerten in den vier Quadranten in der komplexen Ebene spezifiziert;

Fig. 9 eine Ausführungsform der Erfindung unter Verwendung einer Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung und einer Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung;

Fig. 10 eine Ausführungsform der Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtungen 221-224 zusammen mit der Mittelungseinrichtung 219, die in Fig. 9 verwendet werden;

Fig. 11 ein Beispiel der Bestimmung der Phasendrehrichtung für ein Mehrträger-QAM-System unter Verwendung von vier Trägern mit jeweils vier möglichen Signalpunkten;

Fig. 12-1 bis Fig. 12-4 eine Tabelle der Fehlervektoren e_K , die von dem Vorzeichenextrahierer 213 für die drei Fälle A, B, C in Fig. 11 ausgegeben werden, und die jeweiligen Werte in der Schaltung in Fig. 11;

Fig. 13 eine Ausführungsform der Erfindung, bei der die Phaseneinstellung der Abtastrate unter Verwendung des Pilotons wie in Fig. 6 und die Phaseneinstellung der Abtastrate unter Verwendung der datengestützten Einstellung aus Fig. 7 kombiniert sind; und

Fig. 14 eine Tabelle von Werten, wenn eine spezifische Binärcodierung des Real- und Imaginärteils von Y_K und e_K und von d_K verwendet wird, insbesondere die Binärcodierung für die Fälle A, B und C in Fig. 11.

Nachstehend werden Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben. Die Ausführungsformen der Erfindung werden in einem Mehrträger-QAM-System verwendet, so wie es allgemein in Fig. 2 dargestellt ist.

Grundlegendes Prinzip der datengestützten Phaseneinstellung

Fig. 7 zeigt eine Ausführungsform eines Empfängers in einem Mehrträger-QAM-System unter Verwendung eines datengestützten Phasenfehlerabschätzers 21 zum erneuten Einstellen der Phase des numerisch-gesteuerten Oszillator 15, der die Empfängerabtastrate f_{sampR} an die Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung 8 ausgibt.

Die Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung 7, 8 wandelt das von der Übertragungsleitung TM empfangene analoge Mehrträger-QAM-Signal in ein digitales Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal unter Verwendung der vorgegebenen Abtastfrequenz von dem Empfängertaktgenerator NCO um. Wie in Fig. 2 wandelt die Zeitbereichs-/Frequenzbereichs-Umwandlungseinrichtung das digitale Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal DS in ein digitales Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signal Y_K um, das aus eine Vielzahl von komplexen QAM-Datenwerten $Y_{00}, Y_{01}, Y_{10}, Y_{11}$ besteht, so wie dies beispielsweise in Fig. 4 gezeigt ist. Wenn man die Funktion des Equalizers EQ 17 (wie unter Bezugnahme auf Fig. 6 erläutert) beiseite läßt, dann wird das digitale Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signal Y_K an die Decodiereinrichtung 11, 12 ausgegeben, die jeweils einen komplexen vorgegebenen oder idealen (gesendeten) QAM-Datenwert, der ein bekanntes digitales Datensymbol darstellt, auf der Basis der komplexen QAM-Datenwerte Y_K wählt und die komplexen vorgegebenen (gewählten) QAM-Datenwerte in das digitale Ausgangssignal R_x decodiert, das aus einer Anzahl von aufeinanderfolgenden Bits besteht, die den aufeinanderfolgenden Bits des Eingangsdatenstroms T_x entsprechen sollten (siehe Fig. 2). Das heißt, für jeden Träger wird ein komplexer QAM-Datenwert durch die FFT 10 bestimmt und es wird dann entschieden, welchem Bitsymbol er entspricht, indem er mit bekannten vorgegebenen Werten verglichen wird. Jeder Träger kann in Abhängigkeit von der Zuordnung, wie in Fig. 1 gezeigt, zum Decodieren der gleichen Anzahl von Bits oder tatsächlich einer unterschiedlichen Anzahl verwendet werden.

Das heißt, für das Decodieren werden die komplexen Zahlen Y_K verwendet. Wie voranstehend erläutert, stellt die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung 21, 20 die Phase des Empfängertaktgenerators NCO so ein, daß die Abtastzeitgabe in der Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung 8 mit derjenigen übereinstimmt, die in dem Sender verwendet wird, der das analoge Mehrträgersignal erzeugt. Gemäß der Erfindung umfaßt die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung 21, 20 einen datengestützten Phasenfehlerabschätzer, der mehrere (oder alle) komplexen Zahlen Y_K verwendet, die von der Zeitbereichs-/Frequenzbereichs-Umwandlungseinrichtung 10 ausgegeben werden. Das heißt, im Gegensatz zu dem Piloton-Verfahren, das voranstehend erläutert wurde, werden mehrere (oder alle) komplexen Träger mit möglichen Phasendrehungen bezüglich der komplexen vorgegebenen QAM-Werte zusammen ausgewertet, um die Phase des Empfängertaktgenerators NCO neu einzustellen.

Im wesentlichen bestimmt die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung 21 eine Gesamtphasendrehrichtung durch Berücksichtigung von allen möglichen Phasendrehungen von allen komplexen QAM-Datenwerten Y_K bezüglich der jeweiligen vorgegebenen QAM-Datenwerte C_K , die durch die Decodiereinrichtung 11, 12 zum Decodieren verwendet werden. Die Phase der Abtastfrequenz wird dann auf der Basis dieser insgesamt oder durchschnittlichen Phasendrehrichtung eingestellt, die von dem datengestützten Phasenfehlerabschätzer 21 ausgegeben wird. Das Schleifenfilter 20 gehört bereits zu der phasenstarken Regelschleife PLL des numerisch-gesteuerten Oszillator 15 und sein Tiefpaßfilter integriert sukzessive durchschnittliche Phasendrehrichtungswerte (die jeweils einem Datensymbol entsprechen).

Die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung, die den datengestützten Phasenfehlerabschätzer umfaßt, berechnet nicht explizit die Phasendrehung, sondern sie muß nur die Richtung der Phasendrehung in jedem Quadranten bezüglich des komplexen QAM-Vorgabewerts, der von der Decodiereinrichtung 11, 12 decodiert wird, bestimmen.

Fig. 8 zeigt ein Diagramm der Definitionen eines positiven Phasenfehlers, eines negativen Phasenfehlers und keines Phasenfehlers. Wie in Fig. 8 ersichtlich, wird ein positives Vorzeichen "+" verwendet, um anzuzeigen, daß der empfangene komplexe QAM-Datenwert Y_K in einer Gegenuhrzeigerichtung gedreht ist, während ein negatives Vorzeichen "-" verwendet wird, um eine Phasendrehrichtung in der Uhrzeigerichtung anzuzeigen. Wenn natürlich nur eine Änderung in

der Amplitude stattfindet, dann gibt es überhaupt keinen Phasenfehler und dies ist mit 0 in Fig. 8 angezeigt. Die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung bestimmt die Phasendrehrichtung von allen komplexen Werten Y_K und bestimmt daraus einen durchschnittlichen Phasendrehrichtungswert durch Mitteln aller jeweiligen Drehrichtungen von allen Trägern.

- 5 Wenn man Fig. 7 mit Fig. 5 vergleicht, wird offensichtlich, daß die datengestützten Phasenfehlerabschätzung unter Verwendung der erfindungsgemäßen Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung im wesentlichen den Frequenzbereichs-Phasendetektor 19, 20 verwendet, wenn die Schalter S1, S2 geschlossen sind. Das heißt, die Phaseeinstellung wird auf Grundlage einer Frequenzbereichsanalyse ausgeführt.

10 Erste Ausführungsform

- Fig. 9 zeigt eine Ausführungsform der Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung unter Verwendung einer Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung 221-224 für jeden Träger. Wie bezüglich Fig. 1 erläutert wurde, gibt es eine Anzahl 15 von Trägern und jede Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung 221-224 bestimmt jeweils eine Phasendrehrichtung von jedem empfangenen komplexen QAM-Datenwert Y_K bezüglich eines entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts, der als der korrekte Datenwert von dem Quantisierer/Decoder bestimmt wird.

Somit geben die Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtungen 221-224 jeweils eine Phasendrehrichtungswert $d_1, d_2 \dots d_n$ aus, der anzeigt, ob ein positiver Phasenfehler (+1), ein negativer Phasenfehler (-1) oder kein Phasenfehler (0) vorhanden ist.

- 20 Die Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung 219 bestimmt einen durchschnittlichen Phasendrehrichtungswert d_K' durch Mitteln aller jeweiligen Phasendrehrichtungswerte $d_1, d_2, d_3 \dots d_n$ für alle Träger. Obwohl im Prinzip die Vielzahl von Phasendrehrichtungswerten $d_1 \dots d_n$ ein exaktes Maß der jeweiligen Phasendrehwinkel sein können, sind die Phasendrehrichtungswerte $d_1 \dots d_n$ nur Werte von -1 (negative Phasendrehung), +1 (positive Phasendrehung) und 0 (keine Phasendrehung). Der Durchschnittsphasendrehrichtungswert pro Kanal d_K' wird wie folgt bestimmt:

$$d_{K'} = \left(\sum_{n=1}^N d_n \right) / N_c \quad (2)$$

- 30 N_c bezeichnet die Anzahl von Trägern, so daß der Durchschnittsphasendrehrichtungswert in einem Bereich von 0% (nur negative Phasendrehungen) und 100% (nur positive Phasendrehungen) ist. Wenn d_K' 50% ist (dies wird wahrscheinlich durch Rauschen verursacht), dann wird eine Hälfte der Träger eine positive Phasendrehung aufweisen und eine Hälfte der Träger wird eine negative Phasendrehung aufweisen, so keine Phaseeinstellung ausgeführt wird.

- 35 Der Durchschnittsphasendrehrichtungswert d_K' , der die Phasendrehrichtung gemittelt über mehrere (oder alle) komplexe QAM-Werte (Punkte der FFT) eines jeweiligen Datensymbols (siehe die Definitionen in Fig. 3) darstellt, wird dann der PLL Schleife 20 eingegeben, in der ein Tiefpaßfilter davon eine sukzessive Integration von sukzessive ankommenden Werten d_K' ausführt. Da jeder Wert d_K' ein Maß für ein Datensymbol darstellt, führt das Tiefpaßfilter somit eine Mittelung der Phasendrehrichtung über sukzessive Datensymbole aus. Somit wird die Phase der Abtastfrequenz f_{sampR} über der Zeit auf Grundlage der durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerte d_K' eingestellt.

- 40 Insbesondere sei darauf hingewiesen, daß der Wert d_K' ein Maß für die Gesamtrichtung und nicht ein direktes Maß des Betrags der Phasendrehung anzeigt. Es ist nur erforderlich, die phasenstarre Regelschleife PLL, die den numerischgesteuerten Oszillator NCO enthält, jedesmal dann in die richtige Richtung zu steuern, wenn der Wert d_K' berechnet wird, so daß sich nach mehreren Auswertungen der Oszillator immer mehr in die richtige Richtung bewegen wird, bis die Phase der Abtastfrequenz mit derjenigen, die in dem Sender verwendet wird, übereinstimmt.

- 45 Somit verwendet die erfindungsgemäße Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung die Phasenkomponente der Fehlervektoren zwischen Y_K, C_K . Um eine gute Abschätzung des Phasenfehlers zu erreichen, wird ein durchschnittlicher Phasenrichtungswert d_K' jeweils für mehrere (oder alle) Träger des Datensymbols berechnet. Um die Operationen zu vereinfachen, wird nur das Vorzeichen des Phasenfehlers verwendet. Das Vorzeichen des Phasenfehlers kann aus dem Vorzeichen des Real- und Imaginärteils der empfangenen oder decodierten Symbole kombiniert mit dem Vorzeichen des Real- und Imaginärteils der Fehler berechnet werden. Dieses Verfahren führt zu einem geringeren Rauschen in der Phasenabschätzung als bei der Verwendung des Pilotons, weil es eine Durchschnittsbildung von mehreren (oder allen) Trägern ist. Diese Berechnung unter Verwendung nur des Vorzeichens des Phasenfehlers wird bezüglich der Ausführungsform der Erfindung erläutert, die in der Fig. 10 gezeigt ist, die nachstehend erläutert werden soll.

55

Zweite Ausführungsform der Erfindung

- Die Ausführungsform der Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtungen 221-224 und der Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtungen 219, 220 ist in Fig. 10 gezeigt. Ein Subtrahierer 211 berechnet einen komplexen Fehlerwert $e_K = e_{KR} + j e_{KI}$ durch Subtrahieren des komplexen QAM-Datenwerts Y_K von dem entsprechenden komplexen idealen oder vorgegebenen QAM-Datenwert Y_K .

- Ein erster komplexer Vorzeichenextrahierer 212 bildet einen ersten komplexen Vorzeichenwert Y_K' aus dem eingegebenen komplexen QAM-Datenwert $Y_K = Y_{KR} + j Y_{KI}$. Wenn der Realteil Y_{KR} positiv ist, dann ist der Realteil von Y_K' gleich +1. Wenn der Realteil Y_{KR} negativ ist, dann ist der Realteil von Y_K' -1. Wenn der Imaginärteil S_{KI} positiv ist, dann 65 gleicht genauso der Imaginärteil von Y_K' +1. Wenn der Imaginärteil S_{KI} negativ ist, dann ist der Imaginärteil von Y_K' -1.

Die Funktion des zweiten komplexen Vorzeichenextrahierers 213 ist äquivalent zu der Funktion des ersten komplexen Vorzeichenextrahierers 212, nur daß er den Phasenfehlervektor $e_K = e_{KR} + j e_{KI}$ verarbeitet. Das heißt, der erste komplexe Vorzeichenwert Y_K' und der zweite komplexe Vorzeichenwert e_K' enthalten beide nur ± 1 und $\pm j$.

Ein erster Multiplizierer 216 bildet einen dritten Vorzeichenwert e_K'' einfach durch Multiplizieren des ersten komplexen Vorzeichenwerts Y_K' mit dem zweiten komplexen Vorzeichenwert e_K' . Die Einrichtung 214 extrahiert den Real- und den Imaginärteil des ersten komplexen Vorzeichenwerts Y_K' und der zweite Multiplizierer 217 multipliziert den Realteil mit dem Imaginärteil, um einen Quadrantenbestimmungswert zu bestimmen, der +1, -1 oder 0 sein kann. Der Quadrantenbestimmungswert zeigt den Quadranten in der komplexen Ebene an, indem sich der komplexe QAM-Datenwert be-

findet. Die Einrichtung 215 betrachtet den Realteil des zweiten komplexen Vorzeichenwerts e_K'' und setzt einen Wert von +1, wenn der Realteil positiv ist, setzt einen Wert von -1, wenn der Realteil negativ ist und setzt einen Wert von 0, wenn der Realteil 0 ist.

Ein dritter Multiplizierer 218 bildet den Phasendrehrichtungswert d_K durch Multiplizieren des Ausgangs von der Einrichtung 215 mit dem Ausgang von dem zweiten Multiplizierer 217. Da der Ausgang des Multiplizierers 217 genauso wie der Ausgang der Einrichtung 215 nur ganzzahlige Werte von +1, -1, 0 annehmen kann, kann auch der Phasendrehrichtungswert d_K ganzzahlige Werte von +1, -1, 0 annehmen. d_K wird deshalb einfach anzeigen, ob die Phasendrehung in der Gegenuhrzeigerrichtung (+1), in der Uhrzeigerrichtung (-1) ist oder ob überhaupt keine Phasendrehung (0) vorhanden ist.

Wie voranstehend erläutert, umfaßt die Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung 219 einen Addierer 219, der als den durchschnittlichen Phasendrehrichtungswert d_K' eine Summe von allen Phasendrehrichtungen d_1, d_2, \dots, d_K geteilt durch die Anzahl von komplexen QAM-Datenwerten N_c ausgibt. Da wie erläutert d_K' der durchschnittlichen Phasendrehung pro Datensymbol entspricht, kann ein Tiefpaßfilter der PLL dann die Richtung durch eine sukzessive Integration über mehrere Datensymbole (d_K' -Werte) mitteln.

Beispiel einer Phasendrehrichtungseinstellung

Die Fig. 11, 12 zeigen ein Beispiel der Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung eines Mehrträger-QAM-Systems unter Verwendung von vier möglichen Signalpunkten auf jedem der Träger pro komplexem QAM-Datenwert. Wie in Fig. 11 gezeigt, sind die gesendeten komplexen vorgegebenen QAM-Datenwerte in dem Sender $C_{00} = +1$, $C_{01} = +j$, $C_{10} = -1$ und $C_{11} = -j$. Idealerweise sollten die Datenwerte Y_K in dem Empfänger identisch zu denjenigen C_K sein, die von dem Sender gesendet werden. Jedoch stimmt in Fig. 11 nur das Symbol 01 mit dem denjenigen, das von dem Sender gesendet wird, überein, da keine Phasendrehung ($\phi_{01} = 0$, $C_{01} = Y_{01}$; $e_{01} = 0$) vorhanden ist.

Im Fall A gibt es eine Phasendrehrichtung +1 in der Gegenuhrzeigerrichtung bezüglich des Winkels ϕ_{00} , so daß der Fehlervektor ϕ_{00} , der von dem Subtrahierer 211 ausgegeben wird, gebildet wird. Genauso gibt es eine negative Phasendrehrichtung -1 im Fall B, d. h. eine Phasendrehung in der Uhrzeigerrichtung. Ferner gibt es im Fall C eine Phasendrehung in der Uhrzeigerrichtung bezüglich des Winkels ϕ_{11} . Wie in Fig. 11 angezeigt, wird der Fehlervektor e_K durch Subtrahieren von Y_K von C_K gebildet.

Fig. 12-1 ist eine Tabelle, die die jeweiligen Werte des Fehlerwerts e_K bezüglich C_K, Y_K zeigt. In Fig. 12 sei angenommen, daß im Fall A exakt eine $-\pi/2$ Phasendrehung in der Gegenuhrzeigerrichtung vorhanden ist, während im Fall B ein beliebiger Winkel ϕ_{10} angenommen wird (der hier zu dem empfangenen Wert Y_K führt, der $-0,1 + j 0,1$ ist). Der Fall C betrifft einen Phasenwinkel $\phi_{11} = +\pi/2$.

In den Fig. 12-2, 12-3, 12-4 sind die jeweiligen Werte der Fälle A, B, C dargestellt. Die eingerahmten Zahlen bezeichnen jeweils die Werte, die von den Einrichtungen 211-218 berechnet werden. Wie sich diesen Figuren entnehmen läßt, zeigt der Ausgangswert d_K richtig an, daß eine positive Phasendrehrichtung (+1) in die Gegenuhrzeigerrichtung im Fall A existiert und eine negative Phasendrehung (-1) im Fall B, Fall C auftritt.

Dritte Ausführungsform

In den Fig. 7 bis 12 sind die Phasendrehrichtungswerte $d_1 \dots d_n$ ganze Zahlen von +1, -1, 0, um die Phasendrehung in der Uhrzeigerrichtung und der Gegenuhrzeigerrichtung anzuzeigen, die dann von dem Addierer 219 gemittelt werden.

Jedoch ist es gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung möglich, eine Gewichtung auf jeden Phasendrehrichtungswert d_K anzuwenden. Das heißt, bevor der Addierer 219 alle einzelnen Phasendrehrichtungswerte mittelt, wird eine Gewichtung auf jeden Träger angewendet. Beispielsweise kann eine spezielle Einheit ein Signal-zu-Rausch-Verhältnis für jeden Träger berechnen und einen Gewichtungsfaktor für jeden Träger in Abhängigkeit von dem Signal-zu-Rausch-Verhältnis bestimmen. In diesem Fall sind die Phasendrehrichtungswerte nicht reine ganze Zahlen von +1, -1, 0, sondern reale Werte in Abhängigkeit von dem Gewichtungsfaktor, der aus dem Signal-zu-Rausch-Verhältnis bestimmt wird. Das heißt, einige Träger können sehr rauschbehaftet sein, so daß sie einen geringeren Einfluß auf die Abschätzung haben sollten. Andererseits sind höhere Trägerfrequenzen gegenüber einer Änderung einer Abtastzeitgabe empfindlicher und deshalb kann die Gewichtung für höhere Trägerfrequenzen erhöht werden.

Vierte Ausführungsform

In Fig. 6 wurde bereits erwähnt, daß ein einzelner Pilotton von dem Equalizer 17 verwendet werden kann, um Modifikationen der Koeffizienten der komplexen Werte auszuführen, die von der Zeitbereich-/Frequenzbereichs-Umwandlungseinrichtung 10 ausgegeben werden. Wie in Fig. 13 gezeigt, kann jedoch die Pilotton-Phaseneinstellung zusammen mit der datengestützten Phasenfehlerabschätzung verwendet werden. Hier verwendet der datengestützte Phasenfehlerabschätzer 21 sämtliche komplexen QAM-Werte Y_K , wie bezüglich Fig. 7 erläutert wurde. Die Phase der Abtastfrequenz f_{sample} wird dann auf Grundlage einer Kombination des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts D_2 , der von der Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung 21 ausgegeben wird, und der Pilotton-Phasenrichtung D_1 , die von der Einrichtung 19 ausgegeben wird, eingestellt. Die Kombination kann die gewichtete Summe des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts D_2 und des Pilotton-Phasenrichtungswerts D_1 sein.

Es ist somit möglich, den Pilotton zu verwenden und den Equalizer 17 für diesen Ton einzufrieren (festzulegen), um zu verhindern, daß der Equalizer 17 und die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung 21 in unterschiedliche Richtungen anpassen. Die Phasenfehlerabschätzung aus einer gewichteten Summe des Phasenfehlers von dem Pilotton und dem Phasenfehler aus den Daten gebildet werden.

- 5 Deshalb kann der Equalizer 17 – auf Grundlage des extrahierten Realteils aus dem empfangenen Pilotton, wie unter Bezugnahme auf Fig. 6 erläutert – eine Modifikation des Ausgangs von der Einrichtung 10 ausführen und dann wird die Equalizereinstellung eingefroren (fixiert). Danach führt der datengestützte Phasenfehlerabschätzer eine Adaption der Phasen des numerisch-gesteuerten Oszillators 15 aus. Das Einfrieren des Equalizers 17 nach der Realteilextraktion und der Einstellung ist erforderlich um zu vermeiden, daß die Drehungen, die von dem Equalizer 17 und der Einrichtung 21
10 ausgeführt werden, sich gegenseitig kompensieren bzw. auslöschen.

Fünfte Ausführungsform

- Die in Fig. 10 gezeigten einzelnen Signale können aus binärcodiert werden, wie in Fig. 14 gezeigt. In Fig. 14 werden
15 die Signale in der folgenden Weise decodiert:

Realteil: Binäre 0 = +1,0

Binäre 1 = -1,0

Imaginärteil: Binäre 0 = +j

Binäre 1 = -j

- 20 Die Richtungswerte d_k können unter Verwendung eines 2-Bit-Binärwertcodes wie folgt codiert werden:

Binär 00 = 0,0

Binär 01 = +1,0

Binär 10 = nicht verwendet

Binär 11 = -1,0

- 25 In Fig. 14 sind auch die voranstehend erwähnten Fälle A, B, C angedeutet.

Der Binärwert für die durchschnittliche Richtung d_k pro Datensymbol wird dann zum Steuern des numerisch-gesteuerten Oszillators in einem positive oder eine negative Richtung verwendet. Nachdem dies erfolgreich über viele Wert d_k über der Zeit (viele Datensymbole über der Zeit) ausgeführt worden ist, wird der numerisch-gesteuerten Oszillator die Phase in die richtige Richtung einstellen, bis sie auf die richtige Phase eingerastet ist.

30

Gewerbliche Anwendbarkeit

- Wie voranstehend erwähnt, verwendet der Empfänger eines Mehrträger-QAM-Systems, das Mehrträger-QAM-System sowie das Verfahren für eine Phaseeinstellung eine Gesamtabeschätzung der Phasendrehrichtung, die aus allen Positionen der Träger in der komplexen Ebene ermittelt wird. Somit umfaßt das Verfahren eine Abschätzung, die aus allen Trägern erhalten wird, anstelle daß lediglich ein getrennter Pilotton betrachtet wird, wie im Stand der Technik. Deshalb ist die Phaseeinstellung der Abtastrate verbessert und genauer decodierte Datensymbole für das Mehrträger-QAM-System können erhalten werden.

- Die Erfindung findet breite Anwendung in verschiedenen Bereichen von allgemeinen Schalttelefonnetzen, Zellularradios und Modemtechnologien, die höchstgenau decodierte Datensymbole erfordern.

- Die Erfindung ist nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt. Deshalb können andere Modifikationen und Änderungen innerhalb des Schutzzumfangs der beigefügten Ansprüche durchgeführt werden. In den Ansprüchen dienen Bezugszeichen lediglich Illustrationszwecken und engen den Schutzzumfang der Ansprüche nicht ein.

45

Patentansprüche

1. Empfänger (Fig. 7, Fig. 11) eines Mehrträger-QAM-Systems (Fig. 2) zum Empfangen und Demodulieren eines analogen Mehrträger-QAM-Signals (TM) in ein digitales Ausgangssignal (R_x), welches aus aufeinanderfolgenden Bits besteht (Fig. 3), umfassend:

- 50 a) eine Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung (7, 8) zum Umwandeln des analogen Mehrträger-QAM-Signals (TM) in ein digitales Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal (DS) unter Verwendung einer vorgegebene Abtastfrequenz (f_{sampR}) von einem Empfängertaktgenerator (NCO, 15);

- b) eine Zeitbereichs-/Frequenzbereichs-Umwandlungseinrichtung (10) zum Umwandeln des digitalen Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signals (DS) in ein digitales Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signal bestehend
55 aus einer Vielzahl von komplexen QAM-Datenwerten ($Y_1, Y_2, \dots, Y_k; Y_{00}, Y_{01}, Y_{10}, Y_{11}$);

- c) eine Decodiereinrichtung (11, 12) zum jeweiligen Wählen eines komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts ($C_k, C_{00}, C_{01}, C_{10}, C_{11}$), der ein bekanntes digitales Datensymbol (00, 01, 10, 11) darstellt, auf Grundlage der komplexen QAM-Datenwerte und zum Decodieren der komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerte in das digitale Ausgangssignal; und

- 60 d) eine Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung (14, 16, 19–21) zum Einstellen einer Phase des Empfängertaktgenerators (NCO, 15), so daß die Abtastzeitgabe in der Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung (7, 8) mit derjenigen (f_{sampT}) übereinstimmt, die in einem Sender (1–6) verwendet wird, der das analoge Mehrträger-Signal erzeugt;

dadurch gekennzeichnet, daß

- 65 e) die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung (14, 16, 19–21) umfaßt:

e1) eine Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (221–224) zum Bestimmen einer Vielzahl von Phasendrehrichtungswerten ($-1, +1, 0; d_1, d_2, d_3, d_4$) eines jeweiligen komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) bezüglich eines entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts; und

- e2) eine Durchschnittphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (219) zum Bestimmen eines durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (d_k) durch Mitteln aller jeweiligen Phasendrehrichtungswerte; und wobei
- f) die Phase der Abtastfrequenz (f_{sampR}) auf Grundlage des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (d_k) eingestellt wird.
2. Empfänger (Fig. 11, Fig. 3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl von Phasendrehrichtungswerten (d_k) der Anzahl von Trägern entspricht, die in dem QAM-System verwendet werden, so daß der durchschnittliche Phasendrehrichtungswert (d_k) einem Datensymbol-Phasendrehrichtungswert von allen komplexen QAM-Datenwerten von allen Bits eines Datensymbols entspricht, wobei die Umwandlungseinrichtung (10) sukzessive über der Zeit eine Vielzahl von komplexen QAM-Datenwerten für alle Bits eines Datensymbols aus gibt und wobei eine Durchschnittsdatsymbol-Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (20) vorgesehen ist, um die durchschnittlichen Datensymbol-Phasendrehwerte nach jeder Ausgabe der komplexen QAM-Datenwerte durch die Umwandlungseinrichtung nacheinander zu mitteln.
3. Empfänger (Fig. 6, Fig. 12) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das analoge Mehrträger-QAM-Signal (TM) einen Pilotton (PT) entsprechend einem bekannten digitalen Datensymbol (z. B. 01) enthält, wobei die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung (14, 16, 19–21) ferner eine Pilotton-Phasenbestimmungseinrichtung (19) umfaßt zum Bestimmen eines Pilotton-Phasendrehrichtungswerts eines komplexen QAM-Datenwerts ($Y_{k(PD)}$) entsprechend dem empfangenen Pilotton bezüglich eines entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts entsprechend dem bekannten digitalen Datensymbol des Pilottons, wobei die Phase der Abtastfrequenz (f_{sampR}) auf Grundlage einer Kombination (22) des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (D2) und der Pilotton-Phasenrichtung (D1) eingestellt wird.
4. Empfänger (Fig. 12) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Kombination (22) eine gewichtete Summe des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (D2) und der Pilotton-Phasenrichtung (D1) ist.
5. Empfänger (Fig. 13 nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Empfängertaktgenerator (15, NCO) ein numerischgesteuerten Oszillator (NCO) ist, der in eine phasenstarre Regelschleife (PLL) eingebaut ist, und die Phasendrehrichtungen (d_k) als 2-Bit-Werte codiert sind.
6. Empfänger (Fig. 10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (221–224) umfaßt:
- e11) einen Subtrahierer (211) zum Berechnen eines komplexen Fehlerwerts (e_k) durch Subtrahieren des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) von dem entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwert (C_k);
 - e12) einen ersten komplexen Vorzeichenextrahierer (212) zum Bilden eines ersten komplexen Vorzeichenwerts (Y_k')
 - dessen Real- bzw. Imaginärteil -1 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) jeweils negativ ist;
 - dessen Real- bzw. Imaginärteil 0 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) jeweils negativ ist; und
 - dessen Real- bzw. Imaginärteil $+1$ ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) jeweils positiv ist;
 - e13) einen zweiten komplexen Vorzeichenextrahierer (213) zum Bilden eines zweiten komplexen Vorzeichenwerts (e_k')
 - dessen Real- bzw. Imaginärteil -1 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen Fehlerwerts (e_k) jeweils negativ ist;
 - dessen Real- bzw. Imaginärteil 0 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen Fehlerwerts (e_k) jeweils negativ ist; und
 - dessen Real- bzw. Imaginärteil $+1$ ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen Fehlerwerts (e_k) jeweils positiv ist;
 - e14) einen ersten Multiplizierer (216) zum Bilden eines dritten Vorzeichenwerts (e_k'') durch Multiplizieren des ersten komplexen Vorzeichenwerts (Y_k') mit dem zweiten komplexen Vorzeichenwert (e_k');
 - e15) einen zweiten Multiplizierer (214, 217) zum Bilden eines Quadranten-Bestimmungswerts ($0, \pm 1$) durch Multiplizieren des Realteils (± 1) des ersten komplexen Vorzeichenwerts (Y_k') mit dem Imaginärteil (± 1) des ersten komplexen Vorzeichenwert (Y_k'), wobei der Quadrantenbestimmungswert den Quadranten in der komplexen Ebene anzeigt, in dem sich der komplexe QAM-Datenwert befindet;
 - e16) einen dritten Multiplizierer (215, 218) zum Bilden des Phasendrehrichtungswerts durch Multiplizieren des Realteils (215) des dritten komplexen Vorzeichenwerts (e_k'') mit dem Quadrantenbestimmungswert.
7. Empfänger (Fig. 10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchschnittphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (219) einen Addierer (219) umfaßt, der als den durchschnittlichen Phasendrehrichtungswert (d_k) eine Summe von allen Phasendrehrichtungswerten geteilt durch die Anzahl von komplexen QAM-Datenwerten ausgibt.
8. Empfänger (Fig. 10) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchschnitts-Datsymbol-Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (20) ein Tiefpaßfilter einer phasenstarren Regelschleife (20) ist, die zum Einstellen einer Phase des Empfängertaktgenerators (NCO, 15) verwendet wird.
9. Empfänger (Fig. 8, 10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Phasendrehrichtungswert einen Wert $+1$ aufweist, wenn die Phasendrehung des komplexen QAM-Datenwerts in einer Gegenuhrzeigerrichtung von dem decodierten komplexen Vorgabe-QAM-Datenwert ist, der Phasendrehrichtungswert einen Wert 0 aufweist, wenn keine Phasendrehung des komplexen QAM-Datenwerts bezüglich des decodierten komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts existiert und der Phasendrehrichtungswert einen Wert -1 aufweist, wenn die Phasendrehung des komplexen QAM-Datenwerts in einer Uhrzeigerrichtung bezüglich des decodierten komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts ist.

10. Empfänger (Fig. 1, 12) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der komplexe Vorgabe-QAM-Datenwert entsprechend dem gesendeten Pilotton nur einen Imaginärteil (+, -j) aufweist, wobei die Pilotton-Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (19) den Pilotton-Phasendrehrichtungswert durch Bestimmen des Realteils des komplexen Pilotton-QAM-Datenwerts bestimmt.

11. Empfänger (Fig. 6, 12) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitgaben- Zurückgewinnungseinrichtung ferner einen Zeitbereichs-Abtastfrequenzdetektor (TPDF, S1, S2) umfaßt, zum Zurückgewinnen der Abtastfrequenz (f_{sampR}) in dem Zeitbereich aus einem analogen Mehrträger-QAM-Signal einschließlich eines Pilottons, wobei die Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung (8) das empfangene Mehrträger-QAM-Signal einmal pro Periode des Pilottons abtastet und die PLL des Empfängertaktgenerators (15, NCO) auf Grundlage der erhaltenen Abtastwerte gesteuert wird.

12. Empfänger (Fig. 2, 6, 7, 12) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitbereichs-/Frequenzbereichs-Umwandlungseinrichtung (10) eine Fourier Transformationseinrichtung (FFT) umfaßt, um für das Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal (DS) eine Fourier Transformation auszuführen.

13. Empfänger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitgaben- Zurückgewinnungseinrichtung ferner einen Zeitbereichs-Symbolratendetektor (TPDF, S1, S2) umfaßt, zum Zurückgewinnen einer Symbolrate in dem Zeitbereich und einer Symbolstartposition von einzelnen Symbolen aus dem Mehrträger-QAM-Signal.

14. Mehrträger-QAM-Kommunikationssystem (Fig. 2, Fig. 7, Fig. 11) zum Senden von Information unter Verwendung einer Mehrträger-QAM zwischen einem Sender und einem Empfänger, umfassend:

a) eine Codiereinrichtung (1, 3) zum Codieren eines Eingangsbitstroms (T_k) in ein digitales Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signal bestehend aus einer Anzahl (N_{CT}) von komplexen QAM-Datenwerten unter Verwendung einer Mehrträger-QAM-Technik;

b) eine Frequenzbereichs-/Zeitbereichs-Umwandlungseinrichtung (4) zum Umwandeln des digitalen Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signals in ein digitales Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal bestehend aus einer Anzahl von getrennten QAM-Abtastwerten; und

c) eine Digital/Analog-Umwandlungseinrichtung (5, 6) zum Umwandeln der Abtastwerte des digitalen Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signals in ein analoges Mehrträger-QAM-Signal (TM) unter Verwendung einer vorgegebenen Sender-Abtastfrequenz (f_{sampT}) aus einem Sendertaktgenerator; und

an dem Empfänger:

d) eine Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung (7, 8) zum Umwandeln des analogen Mehrträger-QAM-Signals (TM) in ein digitales Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal (DS) unter Verwendung einer vorgegebenen Abtastfrequenz (f_{sampR}) von einem Empfängertaktgenerator (NCO, 15);

e) eine Zeitbereichs-/Frequenzbereichs-Umwandlungseinrichtung (10) zum Umwandeln des digitalen Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signals (DS) in ein digitales Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signal bestehend aus einer Vielzahl von komplexen QAM-Datenwerten ($Y_1, Y_2, \dots, Y_k; Y_{00}, Y_{01}, Y_{10}, Y_{11}$);

f) eine Decodiereinrichtung (11, 12) zum jeweiligen Wählen eines komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts ($C_k, C_{00}, C_{01}, C_{10}, C_{11}$), der ein bekanntes digitales Datensymbol (00, 01, 10, 11) darstellt, auf Grundlage der komplexen QAM-Datenwerte und zum Decodieren der komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerte in ein digitales Ausgangssignal; und

g) eine Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung (14, 16, 19-21) zum Einstellen einer Phase des Empfängertaktgenerators (NCO, 15), so daß die Abtastzeitgabe in der Analog/Digital-Umwandlungseinrichtung (7, 8) mit derjenigen (f_{sampT}) übereinstimmt, die von der Digital-/Analog-Umwandlungseinrichtung (5) in einem Sender (1-6) verwendet wird;

dadurch gekennzeichnet, daß

h) die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung (14, 16, 19-21) umfaßt:

h1) eine Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (221-224) zum Bestimmen einer Vielzahl von Phasendrehrichtungswerten ($-1, +1, 0; d_1, d_2, d_3, d_k$) eines jeweiligen komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) bezüglich eines entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts; und

h2) eine Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (219) zum Bestimmen eines durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (d_k) durch Mitteln aller jeweiligen Phasendrehrichtungswerte; und wobei

i) die Phase der Abtastfrequenz (f_{sampR}) auf Grundlage des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (d_k) eingestellt wird.

15. System (Fig. 11, Fig. 3) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl von Phasendrehrichtungswerten (d_k) der Anzahl von Trägern entspricht, die in dem QAM-System verwendet werden, so daß der durchschnittliche Phasendrehrichtungswert (d_k) einem Datensymbol-Phasendrehrichtungswert von allen komplexen QAM-Datenwerten für alle Bits eines Datensymbols entspricht, wobei die Umwandlungseinrichtung (10) nacheinander über der Zeit eine Vielzahl von komplexen QAM-Datenwerten für alle Bits eines Datensymbols ausgibt und wobei eine durchschnittlichen Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (20) vorgesehen ist, um die Durchschnitts-Datensymbol-Phasendrehwerte nach jeder Ausgabe der komplexen QAM-Datenwerte durch die Umwandlungseinrichtung zu mitteln.

16. System (Fig. 6, Fig. 12) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Sender einen Pilotton sendet, der einer Eingangsbit folge von aufeinanderfolgenden Auftreten eines bekannten digitalen Datensymbols (z. B. 01) entspricht, wobei die Zeitgaben-Zurückgewinnungseinrichtung (14, 16, 19-21) ferner umfaßt eine Pilotton-Phasenbestimmungseinrichtung (19) zum Bestimmen eines Pilotton-Phasendrehrichtungswerts eines komplexen QAM-Datenwerts ($Y_{k(PD)}$) entsprechend dem empfangenen Pilotton bezüglich eines entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts, der dem bekannten digitalen Datensymbol des Pilottons entspricht, wobei die Phase der Abtastfrequenz (f_{sampR}) auf Grundlage einer Kombination (22) des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (D2) und

des Pilotton-Phasenrichtungswerts (D1) eingestellt wird.

17. System (Fig. 2) nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Kombination (22) eine gewichtete Summe des Durchschnitts-Phasendrehrichtungswerts (D2) und des Pilotton-Phasenrichtungswerts (D1) ist.

18. System (Fig. 10) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (221-224) umfaßt:

e11) einen Subtrahierer (211) zum Berechnen eines komplexen Fehlerwerts (e_k) durch Subtrahieren des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) von dem entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwert (C_k);

e12) einen ersten komplexen Vorzeichenextrahierer (212) zum Bilden eines ersten komplexen Vorzeichenwerts (e_k')

- dessen Real- bzw. Imaginärteil -1 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) jeweils negativ ist;

- dessen Real- bzw. Imaginärteil 0 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) jeweils negativ ist; und

- dessen Real- bzw. Imaginärteil +1 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) jeweils positiv ist;

e13) einen zweiten komplexen Vorzeichenextrahierer (213) zum Bilden eines zweiten komplexen Vorzeichenwerts (e_k'')

- dessen Real- bzw. Imaginärteil -1 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen Fehlerwerts (e_k) jeweils negativ ist;

- dessen Real- bzw. Imaginärteil 0 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen Fehlerwerts (e_k) jeweils negativ ist; und

- dessen Real- bzw. Imaginärteil +1 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen Fehlerwerts (e_k) jeweils positiv ist;

e14) einen ersten Multiplizierer (216) zum Bilden eines dritten Vorzeichenwerts (e_k''') durch Multiplizieren des ersten komplexen Vorzeichenwerts (e_k') mit dem zweiten komplexen Vorzeichenwert (e_k'');

e15) einen zweiten Multiplizierer (214, 217) zum Bilden eines Quadranten-Bestimmungswerts ($0, \pm 1$) durch Multiplizieren des Realteils (± 1) des ersten komplexen Vorzeichenwerts (e_k') mit dem Imaginärteil (± 1) des ersten komplexen Vorzeichenwerts (e_k''), wobei der Quadrantenbestimmungswert den Quadranten in der komplexen Ebene anzeigt, in dem sich der komplexe QAM-Datenwert befindet; und

e16) einen dritten Multiplizierer (215, 218) zum Bilden des Phasendrehrichtungswerts durch Multiplizieren des Realteils (215) des dritten komplexen Vorzeichenwerts (e_k''') mit dem Quadrantenbestimmungswert.

19. System (Fig. 10) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchschnittsphasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (219) einen Addierer (219) umfaßt, der als den durchschnittlichen Phasendrehrichtungswert (d_k) eine Summe von allen Phasendrehrichtungswerten geteilt durch die Anzahl von komplexen QAM-Datenwerten ausgibt.

20. System (Fig. 10) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchschnitts-Datensymbol-Phasendrehrichtungs-Bestimmungseinrichtung (20) ein Tiefpaßfilter einer phasenstarren Regelschleife (20) ist, die zum Einstellen einer Phase des Empfängertaktgenerators (NCO, 15) verwendet wird.

21. System (Fig. 8, 10) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Phasendrehrichtungswert einen Wert +1 aufweist, wenn die Phasendrehung des komplexen QAM-Datenwerts in einer Gegenuhrzeigerrichtung von dem decodierten komplexen Vorgabe-QAM-Datenwert ist, der Phasendrehrichtungswert einen Wert 0 aufweist, wenn keine Phasendrehung des komplexen QAM-Datenwerts bezüglich des decodierten komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts existiert und der Phasendrehrichtungswert einen Wert -1 aufweist, wenn die Phasendrehung des komplexen QAM-Datenwerts in einer Uhrzeigerrichtung bezüglich des decodierten komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts ist.

22. System (Fig. 2, 6, 7, 12) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitbereichs-/Frequenzbereichs-Umwandlungseinrichtung (10) eine Fourier Transformationseinrichtung (FFT) umfaßt, zum Ausführen einer Fourier Transformation für das Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal (DS), wobei die Frequenzbereichs-/Zeitbereichs-Umwandlungseinrichtung (10) eine inverse Fourier Transformationseinrichtung (FFT) zum Ausführen einer inversen Fourier Transformation für das Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signal (DS) umfaßt.

23. Verfahren (Fig. 7, Fig. 11) in einem Mehrträger-QAM-System (Fig. 2) zum Empfangen und Demodulieren eines analogen Mehrträger-QAM-Signals (TM) in ein digitales Ausgangssignal (R_x) bestehend aus aufeinanderfolgenden digitalen Datensymbolen (Fig. 3), umfassend die folgenden Schritte:

a) Umwandeln des analogen Mehrträger-QAM-Signals (TM) in ein digitales Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal (DS) unter Verwendung einer vorgegebenen Abtastfrequenz (f_{sampR}) von einem Empfängertaktgenerator (NCO, 15);

b) Umwandeln des digitalen Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signals (DS) in ein digitales Frequenzbereichs-Mehrträger-QAM-Signal bestehend aus einer Vielzahl von komplexen QAM-Datenwerten ($Y_1, Y_2 \dots Y_k; Y_{00}, Y_{01}, Y_{10}, Y_{11}$);

c) Wählen jeweils eines komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts ($C_k, C_{00}, C_{01}, C_{10}, C_{11}$), der ein bekanntes digitales Datensymbol (00, 01, 10, 11) darstellt, auf Grundlage der komplexen QAM-Datenwerte und Decodieren der komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerte in das digitale Ausgangssignal; und

d) Einstellen einer Phase des Empfängertaktgenerators (NCO, 15), so daß die Abtastzeitgabe, die in dem Analog/Digital-Umwandlungsschritt verwendet wird, mit derjenigen (f_{sampT}) übereinstimmt, die in einem Sender (1-6) verwendet wird, der das Mehrträger-QAM-Signal erzeugt;

gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

e1) Bestimmen jeweils einer Vielzahl von Phasendrehrichtungswerten (-1, +1, 0; d_1, d_2, d_3, d_k) eines jeweiligen komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) bezüglich eines entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Daten-

werts; und

e2) Bestimmen eines durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (d_k') durch Mitteln aller jeweiligen Phasendrehrichtungswerte; und

f) Einstellen der Phase der Abtastfrequenz (f_{sampR}) auf Grundlage des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (d_k).

24. Verfahren (Fig. 11) nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl von Phasendrehrichtungswerten (d_k) der Anzahl von Trägern entspricht, die in dem QAM-System verwendet werden, so daß der durchschnittliche Phasendrehrichtungswert (d_k') einem Datensymbol-Phasendrehrichtungswert von allen komplexen QAM-Datenwerten für alle Bits eines Datensymbols entspricht, wobei in dem Schritt b) über der Zeit eine Vielzahl von komplexen QAM-Datenwerten für alle Bits eines Datensymbols nacheinander ausgegeben werden und wobei die Durchschnittsdatsymbol-Phasendrehwerte nach jeder Ausgabe der komplexen QAM-Datenwerte nacheinander gemittelt werden.

25. Verfahren (Fig. 6, Fig. 12) nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß das analoge Mehrträger-QAM-Signal (TM) einen Pilotton (PT) enthält, der einem bekannten digitalen Datensymbol (z. B. 01) entspricht, ein Pilotton-Phasendrehrichtungswert eines komplexen QAM-Datenwerts ($Y_{k(\text{PD})}$), der dem empfangenen Pilotton entspricht, bezüglich eines entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts entsprechend dem bekannten digitalen Datensymbol des Pilottons bestimmt wird und die Phase der Abtastfrequenz (f_{sampR}) auf Grundlage eines Kombinierens (22) des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (D2) und des Pilotton-Phasenrichtungswerts (D1) eingestellt wird.

26. Verfahren (Fig. 12) nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Kombinierschritt (22) eine gewichtete Summe des durchschnittlichen Phasendrehrichtungswerts (D2) und des Pilotton-Phasenrichtungswerts (D1) berechnet wird.

27. Verfahren (Fig. 10) nach Anspruch 23, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

e11) Berechnen eines komplexen Fehlerwerts (e_k) durch Subtrahieren des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) von dem entsprechenden komplexen Vorgabe-QAM-Datenwert (C_k);

e12) Bilden eines ersten komplexen Vorzeichenwerts (Y_k')

– dessen Real- bzw. Imaginärteil -1 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) jeweils negativ ist;

– dessen Real- bzw. Imaginärteil 0 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) jeweils negativ ist; und

– dessen Real- bzw. Imaginärteil $+1$ ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen QAM-Datenwerts (Y_k) jeweils positiv ist;

e13) Bilden eines zweiten komplexen Vorzeichenwerts (e_k')

– dessen Real- bzw. Imaginärteil -1 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen Fehlerwerts (e_k) jeweils negativ ist;

– dessen Real- bzw. Imaginärteil 0 ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen Fehlerwerts (e_k) jeweils negativ ist; und

– dessen Real- bzw. Imaginärteil $+1$ ist, wenn der Realteil bzw. der Imaginärteil des komplexen Fehlerwerts (e_k) jeweils positiv ist;

e14) Bilden eines dritten Vorzeichenwerts (e_k'') durch Multiplizieren des ersten komplexen Vorzeichenwerts (Y_k') mit dem zweiten komplexen Vorzeichenwert (e_k');

e15) Bilden eines Quadranten-Bestimmungswerts ($0, \pm 1$) durch Multiplizieren des Realteils (± 1) des ersten komplexen Vorzeichenwerts (Y_k') mit dem Imaginärteil (± 1) des ersten komplexen Vorzeichenwert (Y_k'), wobei der Quadrantenbestimmungswert den Quadranten in der komplexen Ebene anzeigt, in dem sich der komplexe QAM-Datenwert befindet;

e16) Bilden des Phasendrehrichtungswerts durch Multiplizieren des Realteils (215) des dritten komplexen Vorzeichenwerts (e_k'') mit dem Quadrantenbestimmungswert.

28. Verfahren (Fig. 10) nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß der durchschnittliche Phasendrehrichtungswert (d_k) als eine Summe von allen Phasendrehrichtungswerten geteilt durch die Anzahl von komplexen QAM-Datenwerten bestimmt wird.

29. Verfahren (Fig. 10) nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß der durchschnittlichen Datensymbol-Phasendrehrichtungswert (D) durch ein Tiefpaßfilter einer phasenstarre Regelschleife (20) bestimmt wird, die zum Einstellen einer Phase des Empfängertaktgenerators (NCO, 15) verwendet wird.

30. Verfahren (Fig. 8–10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Phasendrehrichtungswert einen Wert $+1$ aufweist, wenn die Phasendrehung des komplexen QAM-Datenwerts in einer Gegenuhrzeigerrichtung von dem decodierten komplexen Vorgabe-QAM-Datenwert ist, der Phasendrehrichtungswert einen Wert 0 aufweist, wenn keine Phasendrehung des komplexen QAM-Datenwerts bezüglich des decodierten komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts existiert und der Phasendrehrichtungswert einen Wert -1 aufweist, wenn die Phasendrehung des komplexen QAM-Datenwerts in einer Uhrzeigerrichtung bezüglich des decodierten komplexen Vorgabe-QAM-Datenwerts ist.

31. Verfahren (Fig. 2, 6, 7, 12) nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Umwandlungsschritt b) ein Anwenden einer Fourier Transformation auf das Zeitbereichs-Mehrträger-QAM-Signal (DS) umfaßt.

32. Empfänger (Fig. 7, 11) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gewichtungseinrichtung zum Gewichten jedem der Phasendrehrichtungswerte mit einem Gewichtungsfaktor vorgesehen ist.

33. Empfänger (Fig. 7, 11) nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Gewichtungseinrichtung ein SNR-Verhältnis für jeden Träger berechnet und der Gewichtungsfaktor vom berechneten SNR-Verhältnis abhängt.

34. System (Fig. 2, 7, 11) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Empfänger eine Gewichtungseinrichtung vorgesehen ist, um jedem der Phasendrehrichtungswerte mit einem Gewichtungsfaktor zu gewichten.

DE 197 42 670 A 1

35. System (Fig. 2, 7, 11) nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Gewichtungseinrichtung ein SNR-Verhältnis für jeden Träger berechnet und der Gewichtungsfaktor von dem berechneten SNR-Verhältnis abhängt.
36. Verfahren (Fig. 7, 11) nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß jeder der Phasendrehrichtungswerte mit einem Gewichtungsfaktor gewichtet wird.
37. Verfahren (Fig. 7, 11) nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, daß ein SNR-Verhältnis für jeden Träger berechnet wird und der Gewichtungsfaktor von dem berechneten SNR-Verhältnis abhängt.

Hierzu 16 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Fig.1

Grundlegender Mehrträger - Sender

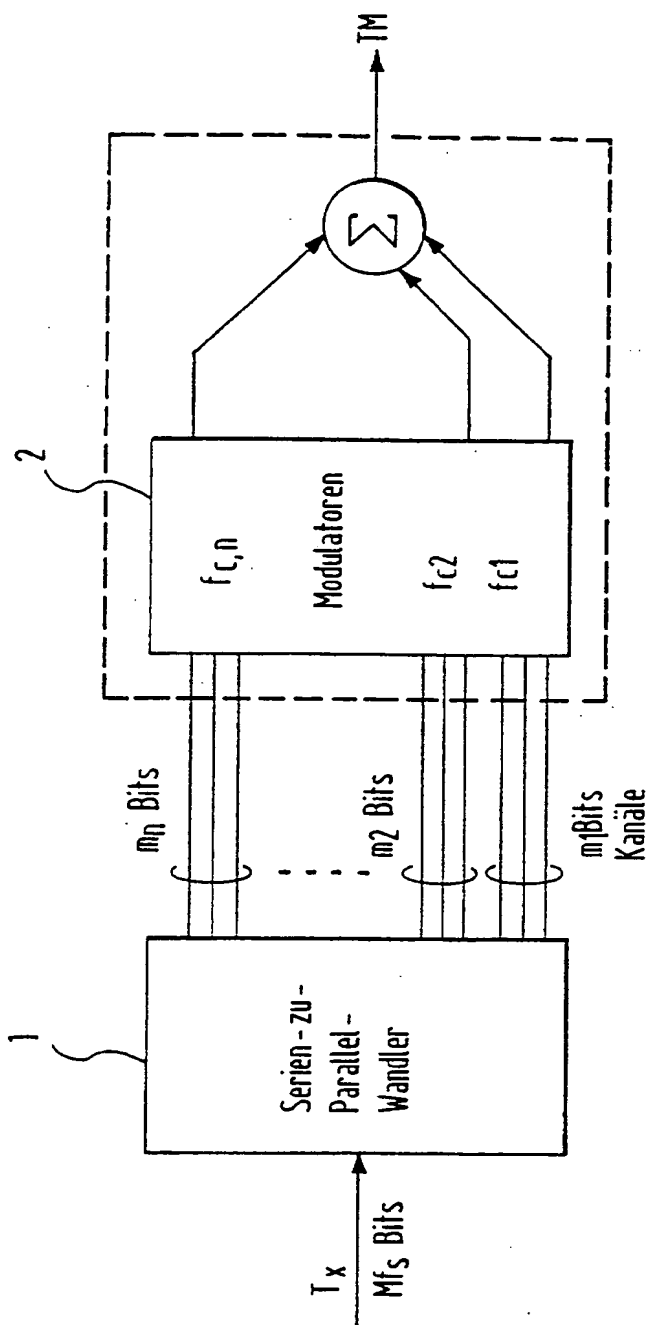


Fig. 2

Grundlegendes Mehrträger - QAM - System

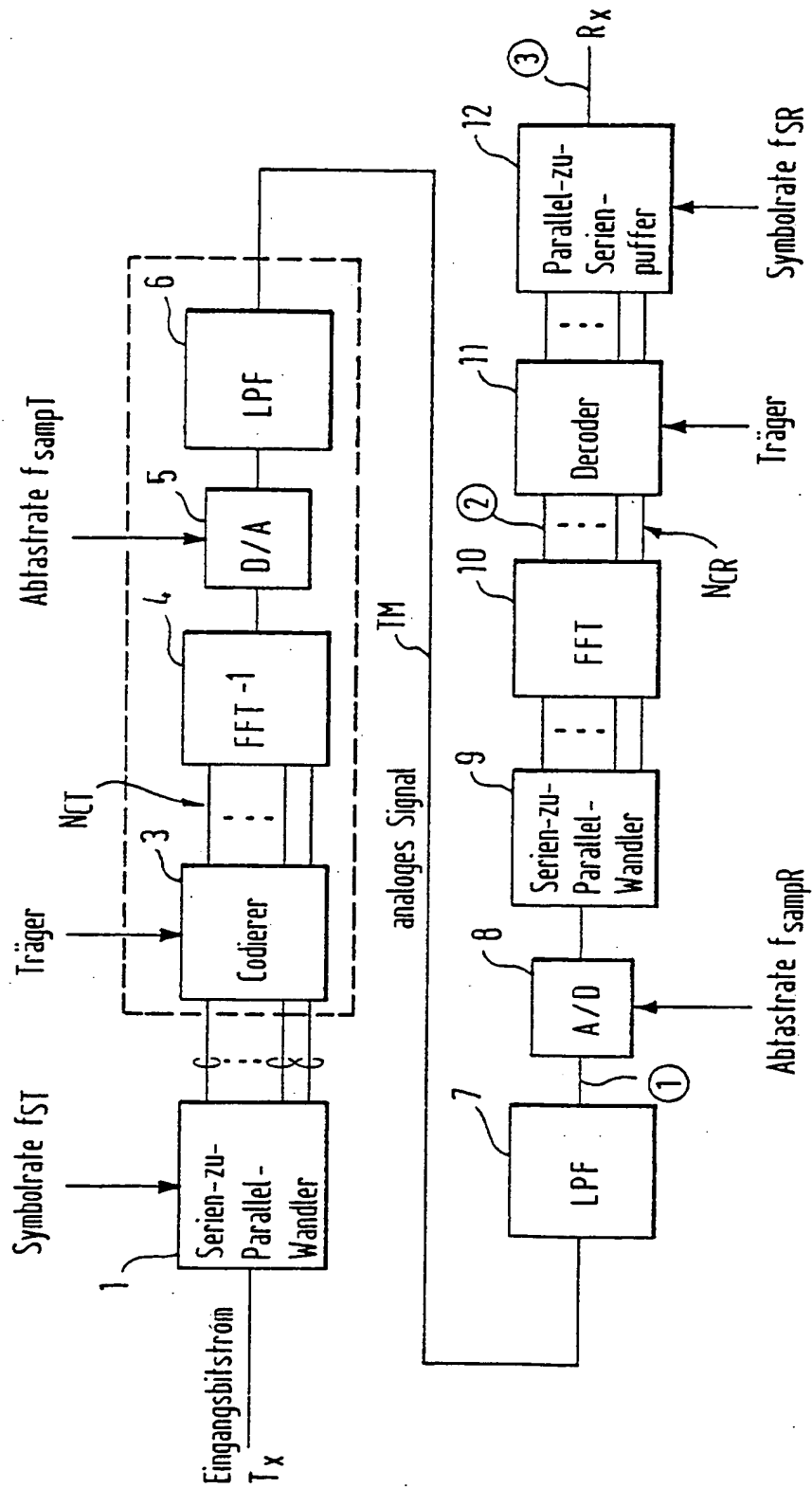


Fig. 3

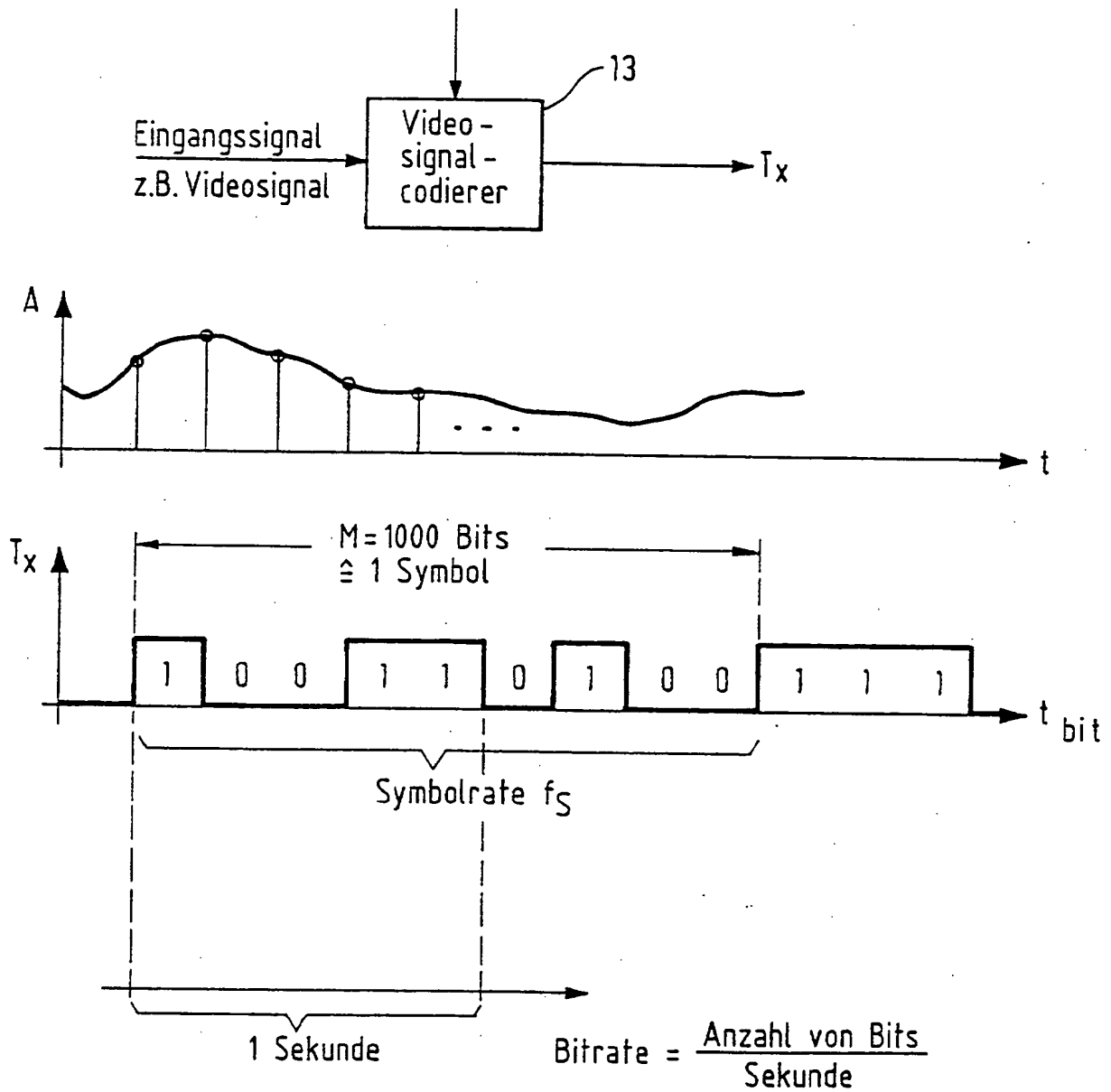


Fig. 4

4 verschiedene Signalpunkte von einem Träger

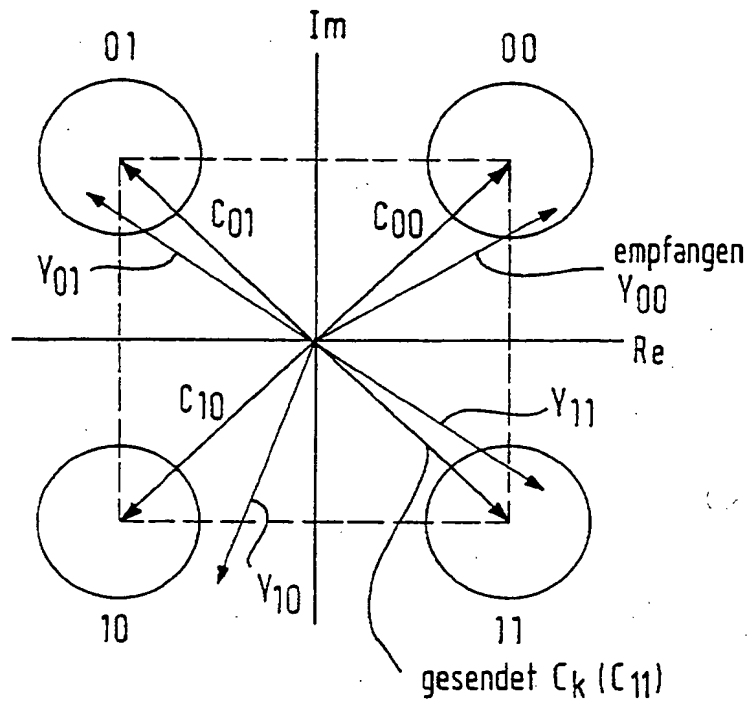


Fig. 5

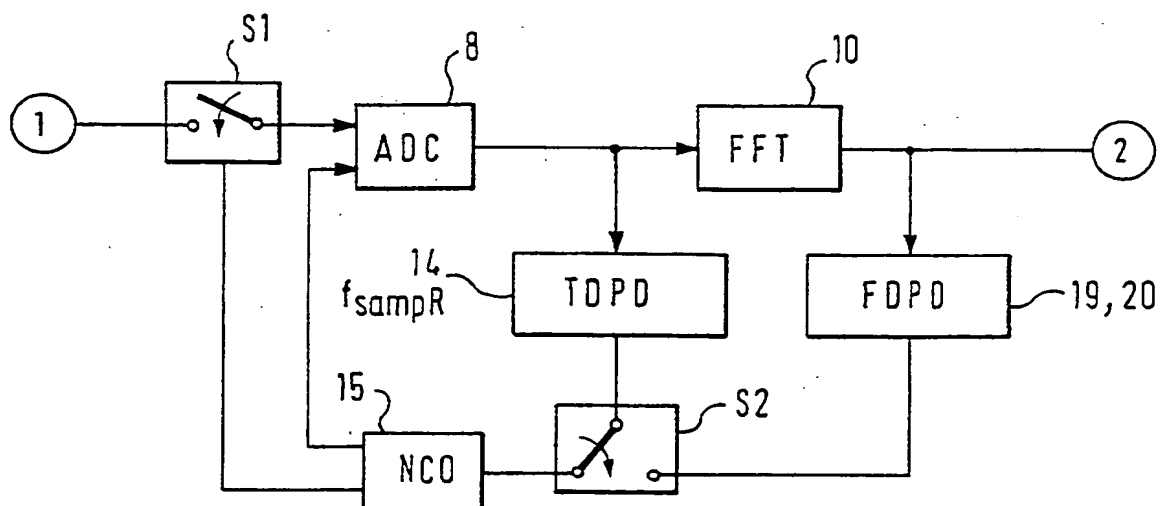


Fig. 6

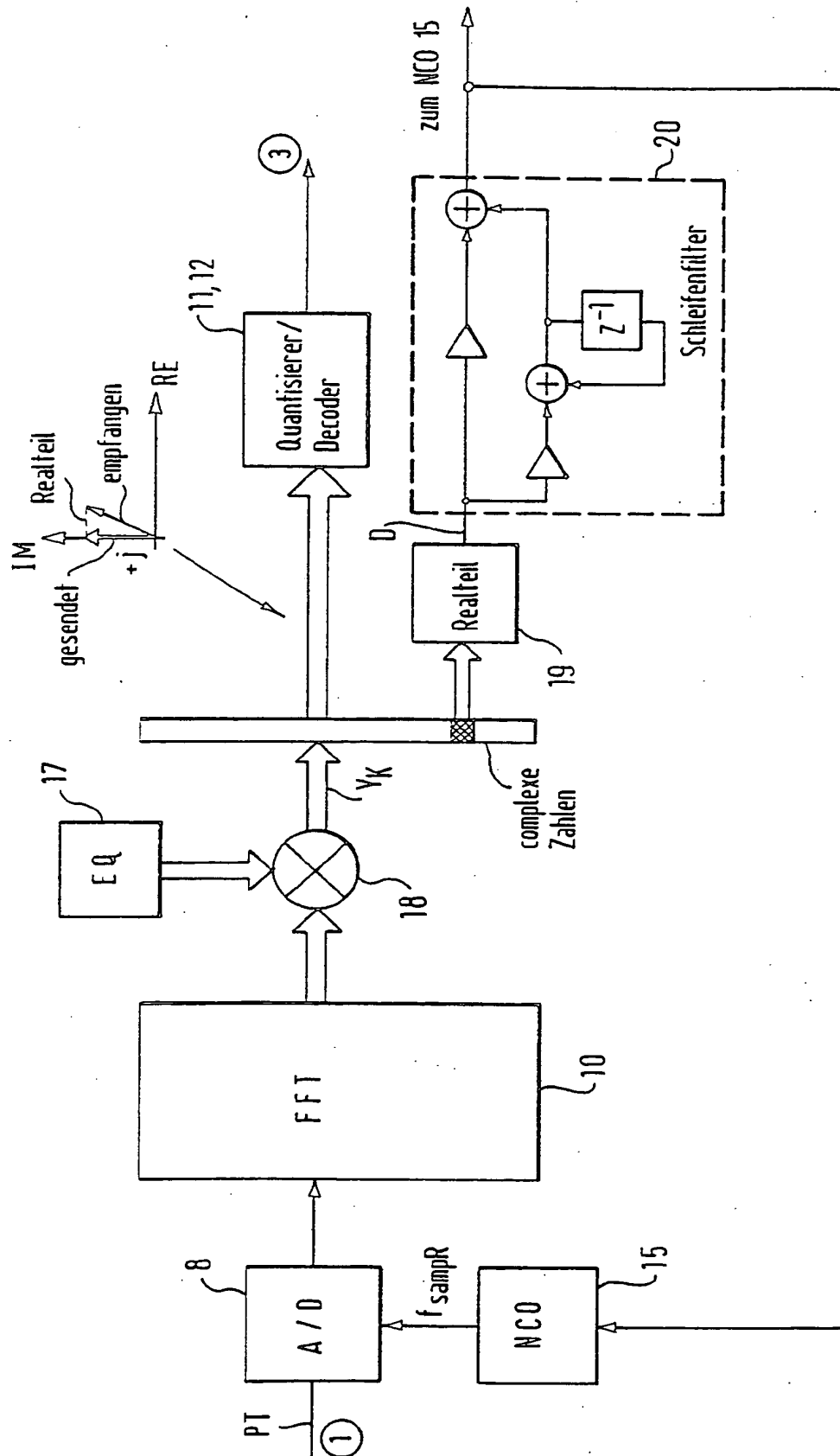


Fig. 7

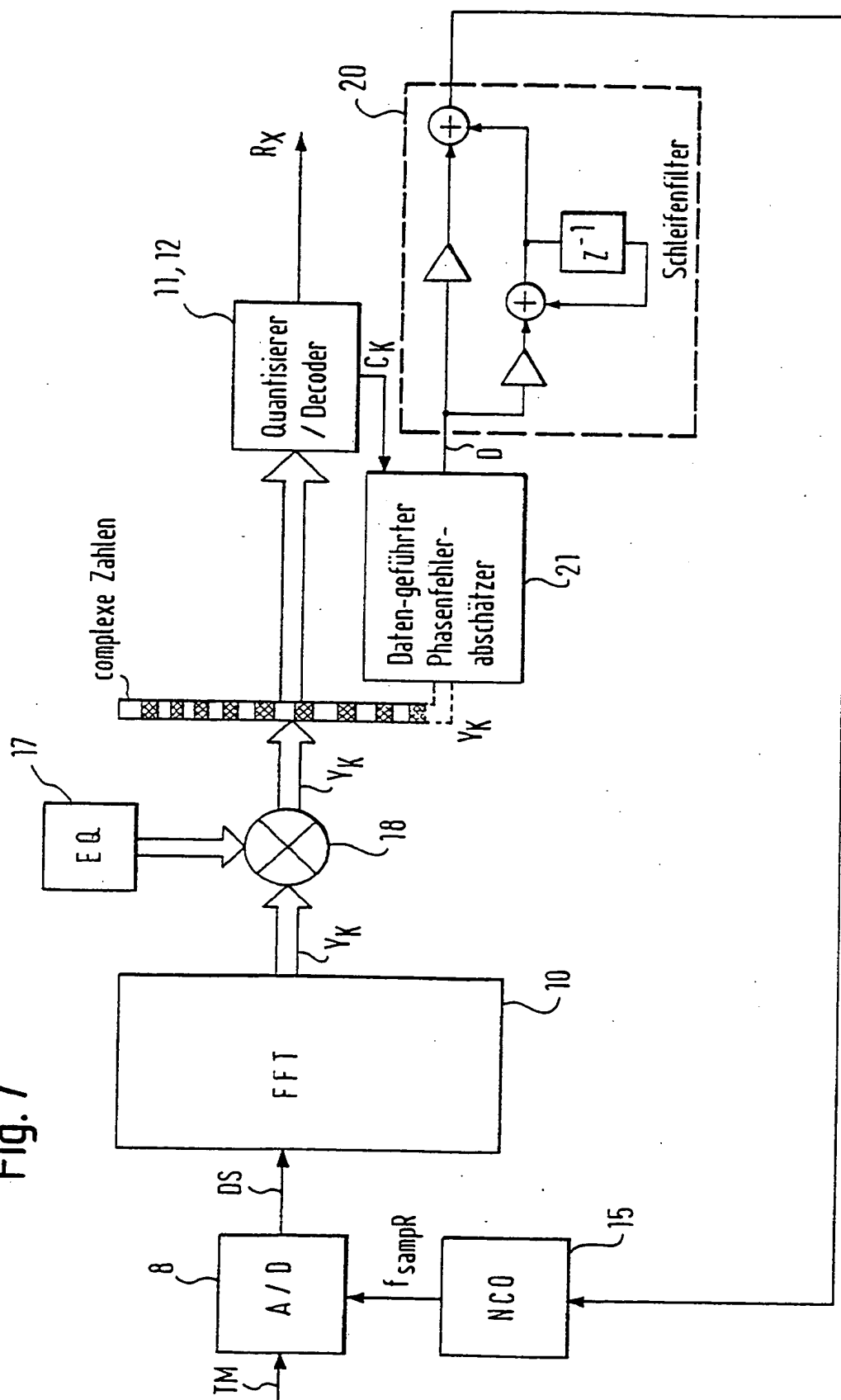
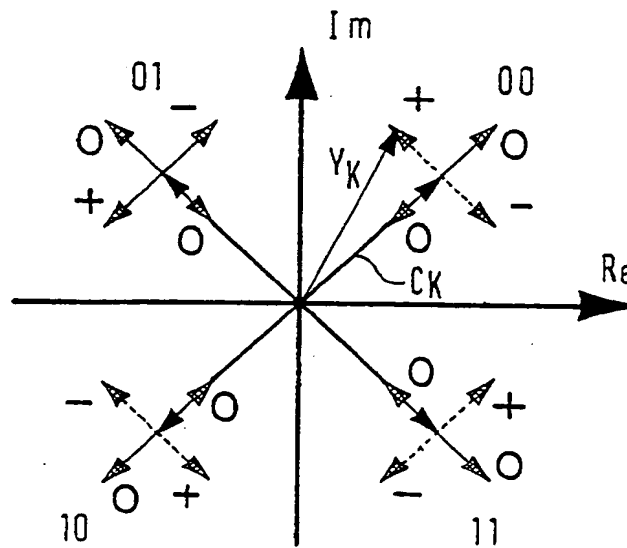


Fig. 8



- + positiver Phasenfehler
- negativer Phasenfehler
- O kein Phasenfehler

Fig. 9

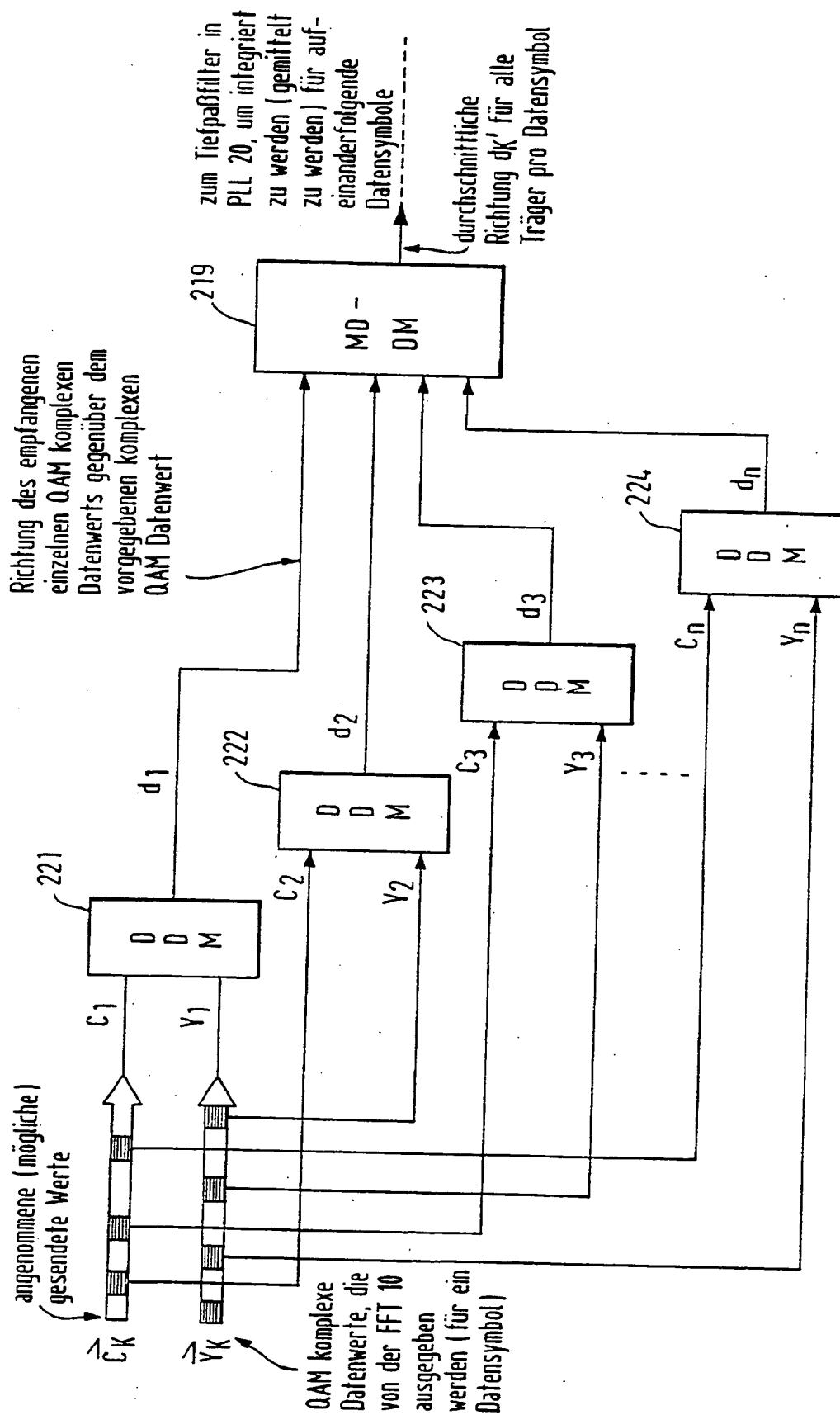


Fig. 10

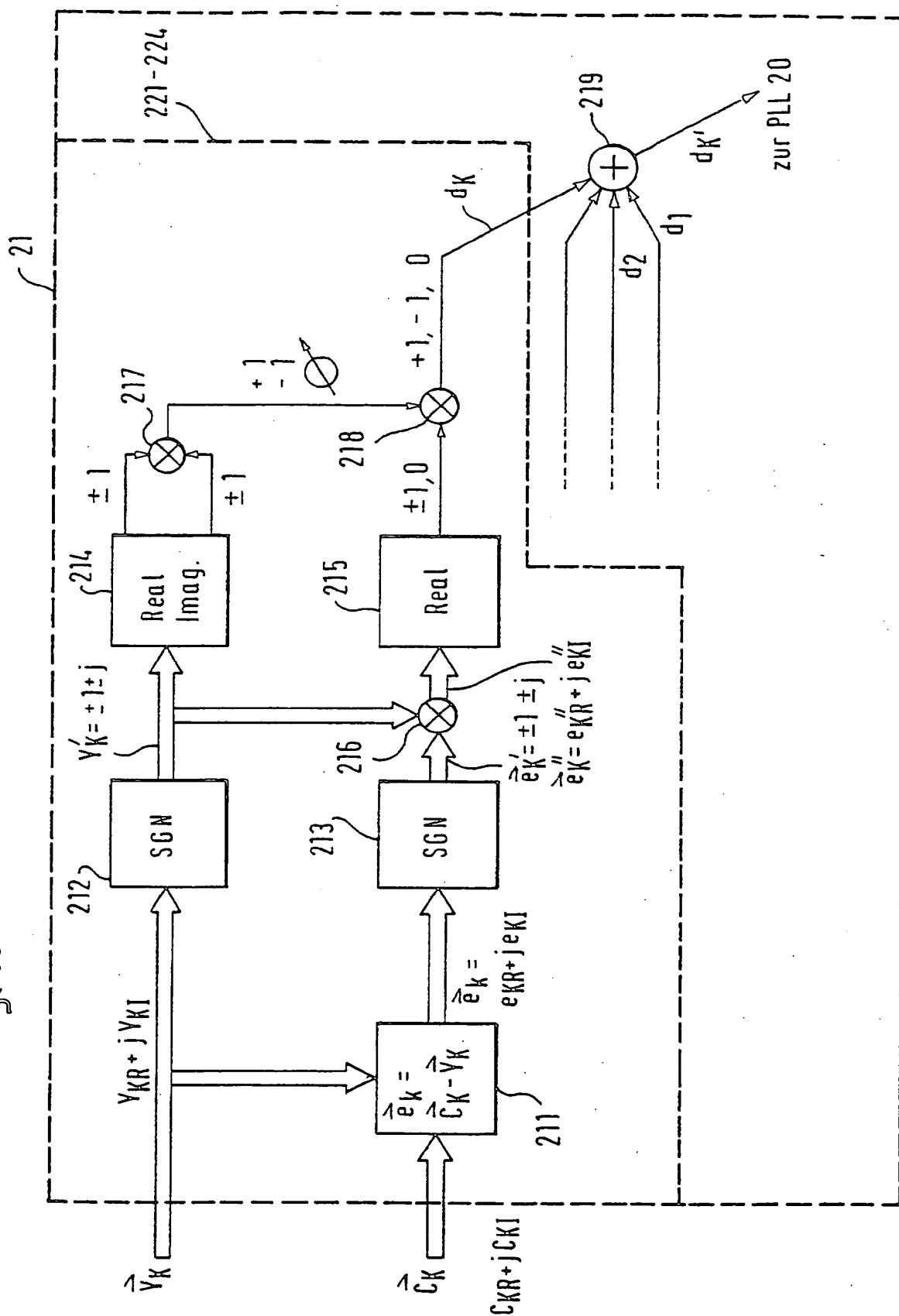
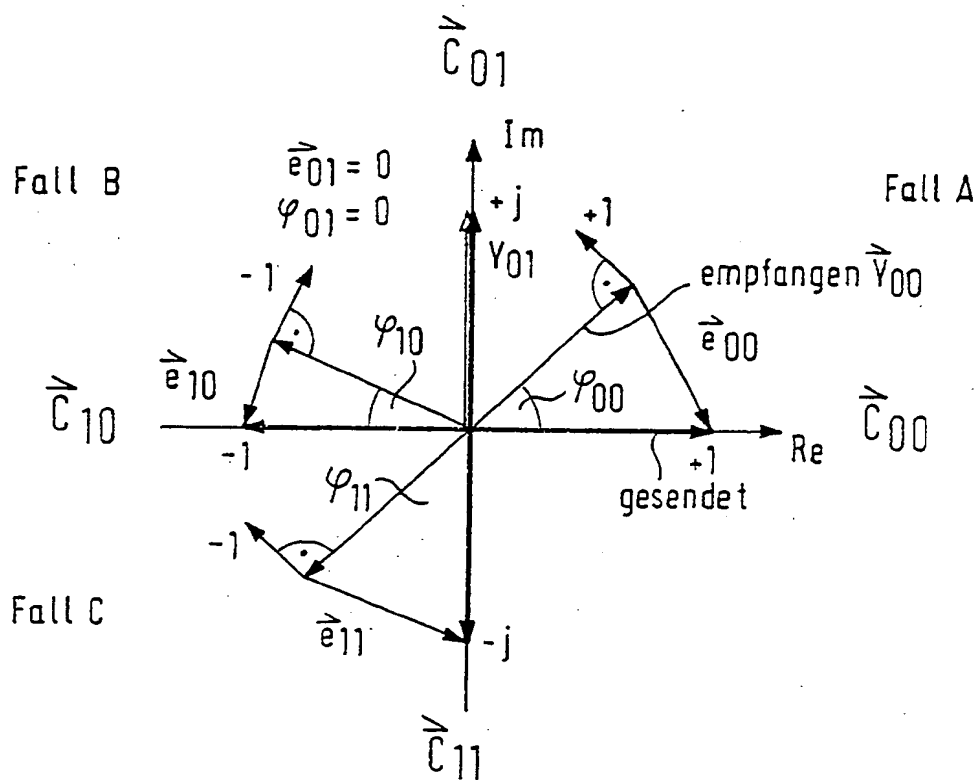


Fig. 11



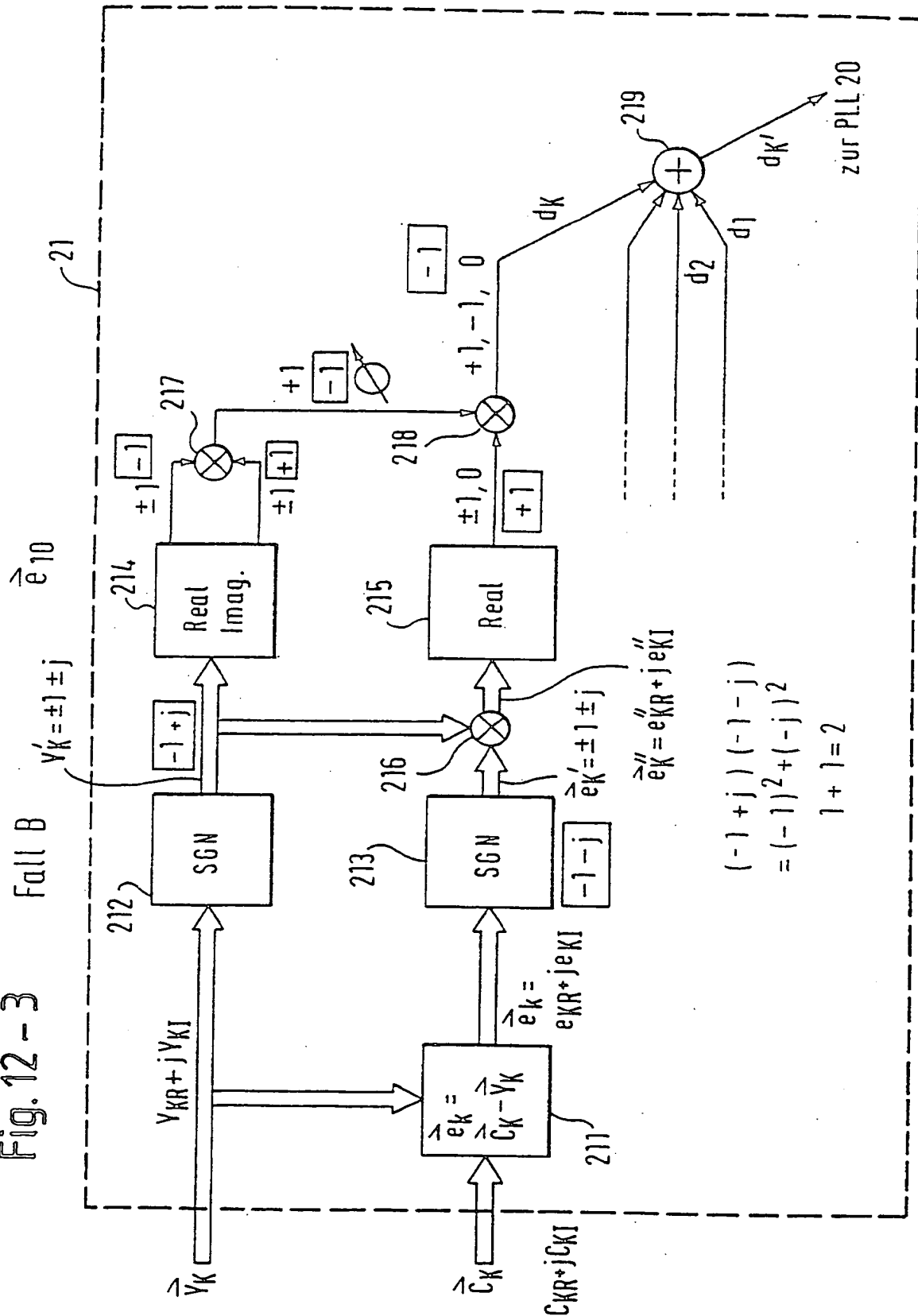
$$\vec{e}_K = \vec{c}_K - \vec{y}_K$$

Fig. 12 - 1

	C_K	Y_K	e_K
Fall A	$\vec{e}_{00} = (+1) - \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + j \frac{1}{\sqrt{2}} \right) =$ $\vec{e}'_{00} = (+1) - (+1 + j)$	$\frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}} - j \frac{1}{\sqrt{2}} =$ $+ 0,41 - j \frac{1}{\sqrt{2}}$ $+ 1 - j$	
Fall B	$\vec{e}_{10} = (-1) - (-0,9 + j 0,1) =$ $\vec{e}'_{10} = (-1) - (-1 + j)$	$- 0,1 - j 0,1$ $- 1 - j$	
Fall C	$\vec{e}_{11} = (-j) - \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} - j \frac{1}{\sqrt{2}} \right) =$ $\vec{e}'_{11} = (-j) - (-1 - j) =$	$+ \frac{1}{\sqrt{2}} - j \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} + j \frac{1}{\sqrt{2}} =$ $+ \frac{1}{\sqrt{2}} + j \frac{1-\sqrt{2}}{\sqrt{2}} =$ $= + \frac{1}{\sqrt{2}} - j 0,41$ $+ 1 - j$	

Fig. 12-3

Fall B



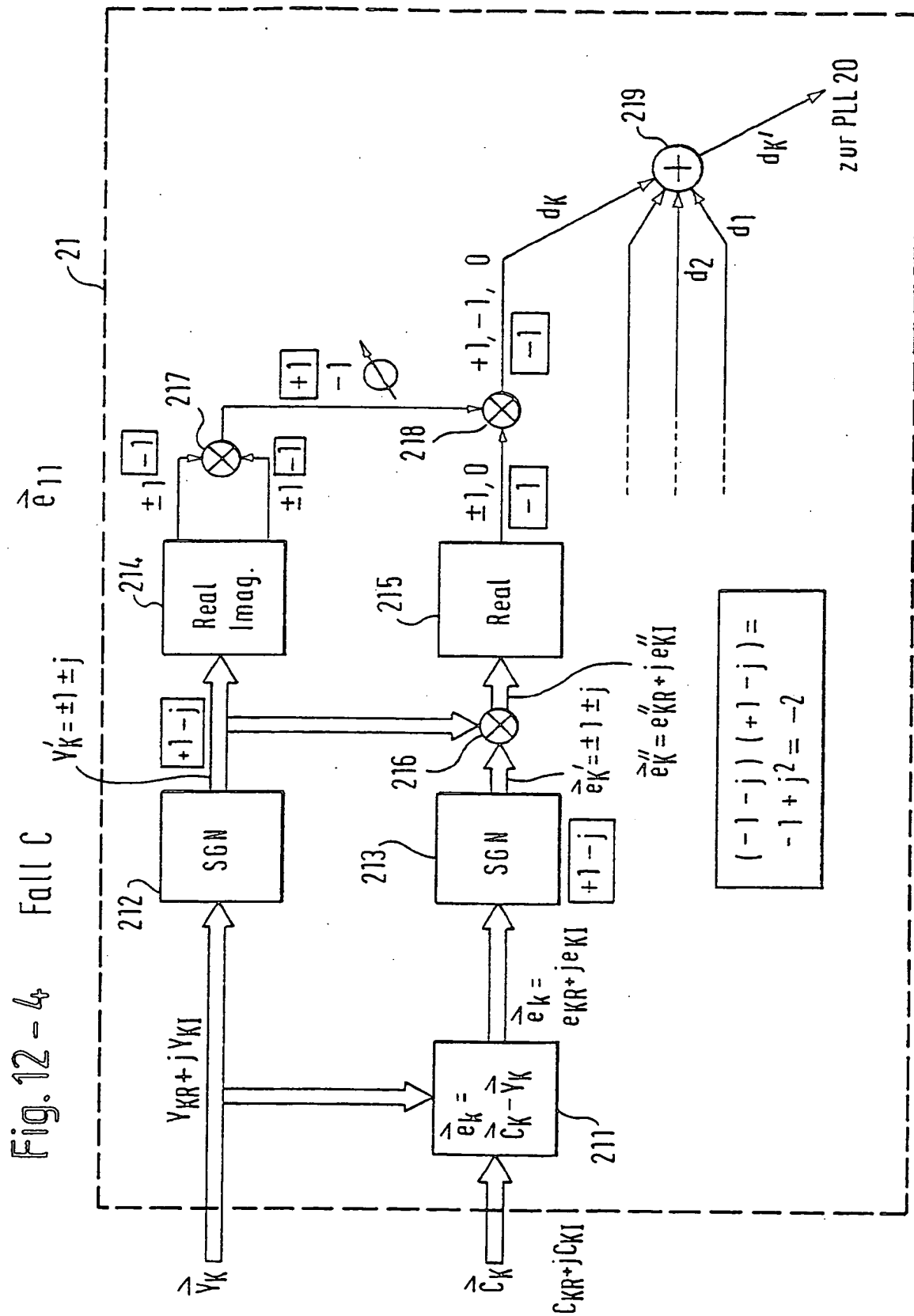


Fig. 13

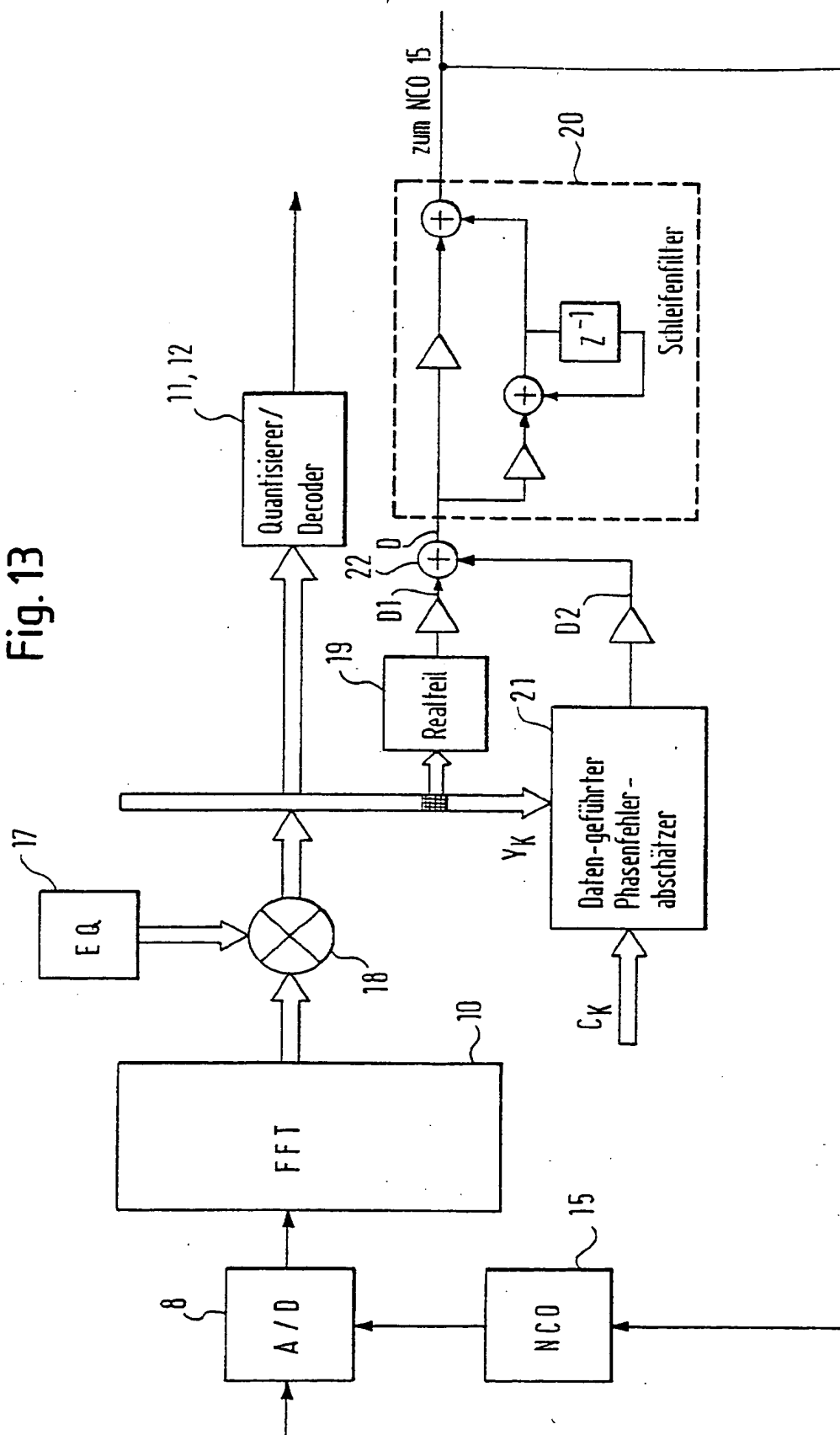


Fig. 14

214, 217



215



218



Vorzeichen des Quadranten		Vorzeichen des Fehlers		Richtung
Imaginärteil von y'_k	Realteil von y'_k	Imaginärteil von e''_k	Realteil von e''_k	d_k
0 (+j)	0 (+1)	0 (+j)	0 (+1)	00 (0)
0 (+j)	0 (+1)	0 (+j)	1 (-1)	11 (-1)
0 (+j)	0 (+1)	1 (-j)	0 (+1)	01 (+1)
0 (+j)	0 (-1)	1 (-j)	1 (-1)	00 (0)
0 (+j)	1 (-1)	0 (-j)	0 (+1)	11 (-1)
0 (+j)	1 (-1)	0 (+j)	1 (-1)	00 (0)
0 (+j)	1 (-1)	1 (-j)	0 (+1)	00 (0)
0 (+j)	1 (-1)	1 (-j)	1 (-1)	01 (+1)
1 (-j)	0 (+1)	0 (+j)	0 (+1)	01 (+1)
1 (-j)	0 (+1)	0 (+j)	1 (-1)	00 (0)
1 (-j)	0 (+1)	1 (-j)	0 (+1)	00 (0)
1 (-j)	0 (+1)	1 (-j)	1 (-1)	11 (-1)
1 (-j)	1 (-1)	0 (+j)	0 (+1)	00 (0)
1 (-j)	1 (-1)	0 (+j)	1 (-1)	11 (-1)
1 (-j)	1 (-1)	1 (-j)	0 (+1)	01 (+1)
1 (-j)	1 (-1)	1 (-j)	1 (-1)	00 (0)

Fall A

Fall B

Fall C

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)